

**EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL AVANCE DE LA AMENAZA POR
EROSIÓN PARA LOS SISTEMAS DE CÁRCAVAS EN EL SUR ESTE DE LA
CIUDAD DE TUNJA**

**JOSE LUIS ALARCÓN SOCHA
RUBY ALEJANDRA LÓPEZ SISSA**

**UNIVERIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA
2016**

**EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL AVANCE DE LA AMENAZA POR
EROSIÓN PARA LOS SISTEMAS DE CÁRCAVAS EN EL SUR ESTE DE LA
CIUDAD DE TUNJA**

**Trabajo de grado presentado como
requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Geologo**

Modalidad Monografia

DIRECTOR: INGENIERO WILSON ENARIO NARANJO MERCHAN

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA
SOGAMOSO
2016**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sogamoso, 28 de octubre 2016

*A Dios por tantas bendiciones recibidas en mi vida, por
permitirme cumplir sueños, tener su guía, amor
incondicional y compañía.*

*A mis padres Carmen y Victor, gracias por amarme
tanto, por ser los forjadores de mi vida, por estar
siempre para mi, por enseñarme que hay que trabajar
fuerte para conseguir las cosas, pero al final del camino
hay una gran recompensa.*

*Mi hermana Anita, gracias a ti, por motivarme a no
decaer, por tus consejos y estar siempre ahí para mi,
eres una gran mujer, Juan gracias por tu apoyo
incondicional.*

*Lo mas lindo del mundo, mis sobrinas, su apoyo,
compañía y amor es algo muy grande que Dios me ha
dado.*

*A Jose por ser mi acompañante en el camino, me
animas a seguir adelante y luchar por mis sueños.*

Alejandra

*Dedico este logro a mis padres, Luis y Cecilia.
Mis hermanos, Viviana y Carlos.
Mi compañera y confidente, Alejandra.
A todos aquellos con quienes aprendí
en el transcurso de este camino.
“Siempre se tiene oportunidad para crecer,
me inquieta saber qué en el sendero estaremos
hallando”*

Jose Luis

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, por ser guías y constantes en nuestra formación personal y por ende en la realización de nuestro proyecto de grado son nuestra inspiración para lograr nuestros objetivos.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por encaminarnos en nuestra futura profesión, para así desempeñar un buen papel como profesionales.

Al Ingeniero Wilson Enarío Naranjo, por su apoyo incondicional en el desarrollo del proyecto y siempre creer en nosotros.

A nuestros profesores, por darnos las herramientas y aporte de conocimientos para nuestro crecimiento intelectual y profesional.

A tres grandes mujeres que la vida me permitió conocer: Andrea Meneses, Karen Arias y Eliana Araque, gracias por tantos momentos compartidos, amistad incondicional y recuerdos que dejaron en mí.

A las personas que, desde el inicio, se atrevieron a darme su amistad, muchas experiencias, enseñanzas y momentos memorables; todos aquellos quienes siempre depositaron un poco de confianza en mí.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1. GENERALIDADES.....	4
1.1 LOCALIZACION.....	4
1.2 CLIMA.....	5
2. DEFINICION DEL ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1 ZONIFICACION AMBIENTAL.....	8
2.2 MARCO DE ANTECEDENTES.....	8
3. IDENTIFICACION, EVALUACION Y ANALISIS DE LA AMENAZA.....	9
3.1 SUSCEPTIBILIDAD.....	12
3.1.1 EVALUACION POR SUSCEPTIBILIDAD GEOLOGICA.....	13
3.1.1.1 ESTRATIGRAFIA.....	15
3.1.2 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD POR PENDIENTE.....	20
3.1.3 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLOGICA.....	24
3.1.4 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD POR CONFLICTO DE USO.....	34
3.1.4.1 ZONAS DE VIDA.....	35
3.1.4.2 USO ACTUAL.....	38
3.1.4.3 USO POTENCIAL.....	40
3.1.4.4 CONFLICTO DE USO.....	42
3.1.5 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD POR INTENSIDAD DE EROSION.....	45
3.1.6 EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR SECTORES CRÍTICOS:.....	47
3.2 FACTORES INTENSIFICADORES.....	52
3.2.1 AMENAZA RELATIVA POR PRECIPITACIÓN:.....	53
3.2.2 AMENAZA RELATIVA POR SISMICIDAD.....	57
3.3 CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR EROSION.....	63
3.4 DETERMINACION DE LA TASA EVOLUTIVA Y CARACTERIZACION DE LA AMENAZA POR INCREMENTO DE AREA DE CARCAVAS.....	65
4. METODOS PRELIMINARES DE MITIGACION.....	78
4.1 OBRAS GENERALES.....	78
4.2 OBRAS SEGÚN SU MORFOMETRIA.....	79
5. CONCLUSIONES.....	86
6. RECOMENDACIONES.....	88
7. BIBLIOGRAFIA.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Delimitación del área de estudio.....</i>	<i>4</i>
Figura 2.	<i>Precipitación anual estación UPTC.</i>	<i>5</i>
Figura 3.	<i>Temperatura anual estación UPTC</i>	<i>6</i>
Figura 4.	<i>Precipitación anual estación Pila la Faca.....</i>	<i>6</i>
Figura 5.	<i>Precipitación anual estación Villa del Carmen.....</i>	<i>7</i>
Figura 6.	<i>Flujograma de metodología para la determinación de la amenaza...11</i>	
Figura 7.	<i>Flujograma metodología para la determinación de susceptibilidad...13</i>	
Figura 8.	<i>Mapa Geologico de la zona.</i>	<i>14</i>
Figura 9.	<i>Formación Bogota.</i>	<i>15</i>
Figura 10.	<i>Formación Tilata.</i>	<i>16</i>
Figura 11.	<i>Cuaternario Fluvial.....</i>	<i>17</i>
Figura 12.	<i>Cuaternario Lacustre.</i>	<i>17</i>
Figura 13.	<i>Mapa de susceptibilidad geológica.</i>	<i>19</i>
Figura 14.	<i>Mapa de pendientes de la zona.....</i>	<i>22</i>
Figura 15.	<i>Mapa de susceptibilidad por pendientes.....</i>	<i>23</i>
Figura 16.	<i>Geoforma Cárcava.</i>	<i>24</i>
Figura 17.	<i>Geoforma glacis de erosión.....</i>	<i>25</i>
Figura 18.	<i>Geoforma ladera ondulada.</i>	<i>26</i>
Figura 19.	<i>Geoforma cauce aluvial.....</i>	<i>26</i>
Figura 20.	<i>Geoforma ladera de contrapendiente sierra sinclinal.....</i>	<i>27</i>
Figura 21.	<i>Geoforma campos y planos de llenos.....</i>	<i>28</i>
Figura 22.	<i>Geoforma superficie de explanacion.</i>	<i>28</i>
Figura 23.	<i>Geoforma ladera estructural.</i>	<i>29</i>
Figura 24.	<i>Geoforma terraplen vial.</i>	<i>30</i>
Figura 25.	<i>Mapa geomorfologico de la zona.....</i>	<i>31</i>
Figura 26.	<i>Mapa de suscpetibilidad geomorfologica.....</i>	<i>33</i>
Figura 27.	<i>Mapa de zonas de vida.....</i>	<i>37</i>
Figura 28.	<i>Mapa de uso actual.</i>	<i>39</i>
Figura 29.	<i>Mapa de uso potencial.....</i>	<i>41</i>
Figura 30.	<i>Mapa de conflicto de uso.</i>	<i>43</i>
Figura 31.	<i>Mapa de intensidad de erosión.....</i>	<i>46</i>
Figura 32.	<i>Mapa de sectores críticos.</i>	<i>48</i>
Figura 33.	<i>Mapa de susceptibilidad por sectores criticos.....</i>	<i>50</i>
Figura 34.	<i>Mapa susceptibilidad total.....</i>	<i>51</i>
Figura 35.	<i>Flujograma para la determinacion de la amenaza por factores intensificadores.....</i>	<i>52</i>
Figura 36.	<i>Mapa de isoyetas regional.....</i>	<i>54</i>
Figura 37.	<i>Mapa de isoyetas de la zona.</i>	<i>55</i>
Figura 38.	<i>Mapa de amenaza relativa por precipitaciones.....</i>	<i>56</i>
Figura 39.	<i>Mapa de sismicidad regional.</i>	<i>60</i>
Figura 40.	<i>Mapa de sismicidad de la zona.....</i>	<i>61</i>

Figura 41.	<i>Mapa de amenaza relativa por sismicidad.....</i>	62
Figura 42.	<i>Mapa de amenaza total por erosion</i>	68
Figura 43.	Mapa estudio multitemporal de cárcavas 1985-1993	67
Figura 44.	<i>Mapa estudio multitemporal de cárcavas 1993-1995.</i>	68
Figura 45.	<i>Mapa estudio multitemporal de cárcavas 1995-2005.</i>	69
Figura 46.	<i>Mapa estudio multitemporal de cárcavas 2005-2009</i>	70
Figura 47.	<i>Mapa estudio multitemporal de cárcavas 2009-2015</i>	71
Figura 48.	<i>Mapa estudio multitemporal final</i>	76
Figura 49.	<i>Surcos profundos.....</i>	79
Figura 50.	<i>Clasificacion por forma</i>	80
Figura 51.	<i>Represa de alambre</i>	84
Figura 52.	<i>Diques de sacos</i>	85
Figura 53.	<i>Presas de ladrillos.....</i>	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Marco de antecedente.</i>	9
Tabla 2.	<i>Clasificación de la amenaza.</i>	12
Tabla 3.	<i>Calificación por susceptibilidad en cada formación.</i>	18
Tabla 4.	<i>Clasificación por el parametro pendiente.</i>	20
Tabla 5.	<i>Calificación por susceptibilidad geomorfológica.</i>	32
Tabla 6.	<i>Clasificación zonas de vida según Holdridge.</i>	35
Tabla 7.	<i>Uso actual del suelo.</i>	38
Tabla 8.	<i>Rango para uso potencial.</i>	40
Tabla 9.	<i>Sistema de comparacion de conflicto de uso.</i>	42
Tabla 10.	<i>Clasificacion susceptibilidad intensidad de erosion.</i>	45
Tabla 11.	<i>Clasificacion porsusceptibilidad sectores criticos.</i>	49
Tabla 12.	<i>Tasa de precipitacion anual promedio de los años 1980-2010 y estaciones meteorológicas.</i>	53
Tabla 13.	<i>Calificacion por la variable meteorologica.</i>	53
Tabla 14.	<i>Escala de Mercalli.</i>	57
Tabla 15.	<i>Amenaza y calificacion.</i>	58
Tabla 16.	<i>Datos sismicos hidtoricos de Tunja y sus alrededores.</i>	58
Tabla 17.	<i>Grados de amenaza y calificacion.</i>	63
Tabla 18.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 1, sector 1 y 2; disminucion.</i>	73
Tabla 19.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 1, sector 3 y 4; aumento.</i>	73
Tabla 20.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 2, sector 5; disminucion.</i>	73
Tabla 21.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 3, sector 7; disminucion.</i>	74
Tabla 22.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 3, sector 8; aumento.</i>	74
Tabla 23.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 4, sector 10; disminucion.</i>	74
Tabla 24.	<i>Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 4, sector 11 y 12; disminucion y aumento.</i>	75
Tabla 25.	<i>Clasificacion por profundidad.</i>	80
Tabla 26.	<i>Resultados sistemas de cárcavas II.</i>	82
Tabla 27.	<i>Resultados sistemas de cárcavas III.</i>	82
Tabla 28.	<i>Resultados sistemas de cárcavas III-2.</i>	83
Tabla 29.	<i>Resultados totales sistemas de carcavas a trabajar.</i>	83

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa Geologico*
- Anexo 2. Mapa de Susceptibilidad*
- Anexo 3. Mapa de Amenaza por Erosion*
- Anexo 4. Mapa Estudio Multitemporal, Analisis Final*
- Anexo 5. Mapa de Calificacion Geologica*
- Anexo 6. Mapa de Geomorfología*
- Anexo 7. Mapa de Calificación Geomorfológica*
- Anexo 8. Mapa de Pendientes*
- Anexo 9. Mapa de Calificación Pendientes*
- Anexo 10. Mapa de Zonas de Vida*
- Anexo 11. Mapa de Uso Actual*
- Anexo 12. Mapa de Uso Potencial*
- Anexo 13. Mapa de Conflicto de Uso*
- Anexo 14. Mapa de Intensidad de Erosión*
- Anexo 15. Mapa de Sectores Criticos*
- Anexo 16. Mapa de Calificacion Sectores Criticos*
- Anexo 17. Mapa de Sismicidad de la Zona*
- Anexo 18. Mapa de A.R por Sismicidad*
- Anexo 19. Mapa de Isoyetas Regional*
- Anexo 20. Mapa de Isoyetas en la Zona*
- Anexo 21. Mapa de A.R por Precipitaciones*
- Anexo 22. Mapa de E.M 85-93*
- Anexo 23. Mapa de E.M 93-95*
- Anexo 24. Mapa de E.M 95-05*
- Anexo 25. Mapa de E.M 05-09*
- Anexo 26. Mapa de E.M 09-15*
- Anexo 27. Mapa de Evaluacion y Cuantificacion*

RESUMEN

La erosión muy severa, es tal vez, uno de los procesos que genera mayor amenaza en la parte media y baja del costado sureste del sinclinal de Tunja. Este proceso se representa por un cárcavamiento ocasionado por flujo concentrado, dentro de un área de 342,95 Ha.

En este trabajo, se presenta la evaluación y cuantificación del avance de la amenaza por erosión, que genera este evento, un análisis multitemporal que consigna los cambios superficiales, enfocando aquellas que presenten incremento, de igual modo, algunos métodos aplicables de mitigación, de acuerdo a la morfometría de estos sistemas de cárcavas. La evaluación de la amenaza se obtuvo a partir de la interacción de mapas como: Pendientes, Geología, Intensidad de erosión, Conflicto de uso, Geomorfología y Sectores críticos; en cada uno, su análisis conlleva a una susceptibilidad particular, que puede ser general, mediante la unión de todas las variables, obteniendo así una susceptibilidad total; a su vez sumada a los factores intensificadores como: Sismicidad y Precipitación, que permiten conocer las amenazas relativas para cada una de estas componentes; finalmente unidos los resultados de amenazas relativas, es posible la determinación del mapa de amenaza por erosión.

Para el desarrollo de la amenaza por pérdida de área útil, se adquirieron fotografías aéreas de los años comprendidos entre 1985 – 2015, con escalas variables; estudio que cuenta con una etapa de fotointerpretación, delimitando cada uno de los sistemas de cárcavas y una posterior digitalización en un programa SIG. Esta metodología, permite ver, la relación de las cárcavas correspondiente a los años de estudio, mostrando el área de variación y así mediante operaciones estadísticas, postular valores anuales de crecimiento y disminución; de esta manera, se pueden revelar aquellos sectores de propagación de las cárcavas. El desarrollo de los métodos de mitigación, se llevó a cabo, con base en la morfometría de estos canales de erosión, de acuerdo a la relación sistemática que existe entre dinámica y forma.

PALABRAS CLAVE:

Cárcavas. Erosión. Susceptibilidad. Amenaza. Variación de área. Métodos de mitigación.

INTRODUCCION

En el desarrollo de la investigación de la geología ambiental, es común encontrar procesos denudacionales, que involucran erosiones excesivas y que modelan marcadamente la superficie, como es el caso de las cárcavas, que se extienden hacia el sureste de la ciudad de Tunja, siendo estas el objeto de estudio para este trabajo.

A lo largo de las últimas décadas, se han llevado a cabo construcciones de infraestructura, para el desarrollo urbano, en sitios en los cuales no se ha realizado un correcto análisis y manejo de este fenómeno; además, en muchos otros, la evidencia de estos canales de erosión reduce la capacidad de progreso socioeconómico general para esta región.

Debido a esto, se deben implementar estrategias, que permitan conocer el estado de avance y evolución, que han experimentado los sistemas de cárcavas, así mismo, es imperativo evaluar y analizar el comportamiento que desempeña como agente constituyente de amenaza y cuantificar su avance, para así contribuir en la elaboración de escenarios, donde encaje la posibilidad de que dichos eventos ocurran.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y cuantificar el avance de la amenaza por erosión, para los sistemas de cárcavas, en el sureste de la ciudad de Tunja.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar información bibliográfica correspondiente al tema de estudio como antecedentes y cartografía.
- Elaboración de mapas tales como: geológico, geomorfológico, pendientes, intensidad de erosión, conflicto de uso y sectores críticos para la evaluación de la susceptibilidad por la generación de cárcavas en la zona.
- Evaluar y cuantificar la amenaza por erosión generada por este fenómeno.
- Proponer métodos preliminares de mitigación para los sistemas de cárcavas al sureste de la ciudad de Tunja.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

La ciudad de Tunja se encuentra a 156 Km de la ciudad de Bogotá, por la ruta 55 vía Tunja – Bogotá, atravesando la zona de Oeste a Este, la vía que conduce hacia el municipio de Soracá, finalmente de Norte a Sur la avenida Oriental de la ciudad de Tunja.

La zona de estudio se encuentra al Sureste de la ciudad de Tunja y limita al Norte con el barrio El Manzanal, al Sur con el Barrio Cooservicios, hacia el Este con la vereda San Carlos y hacia el Oeste con el Río Jordán, comprendiendo un área de 342,95 Ha.

Figura 1. Delimitación del área de estudio.



Fuente: Google Maps 2016, modificado por autores

1.2CLIMA

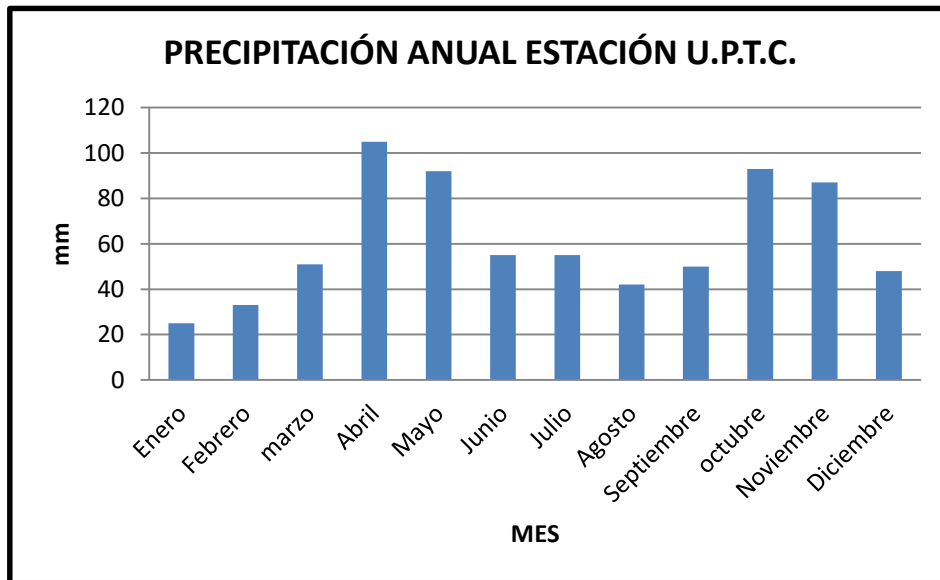
Los factores geosféricos como el clima y la vegetación, afectan la tasa de erosión en la superficie de la tierra, algunos con mayor intensidad que otros. El análisis de estos factores, nos permite, tener una estimación de la tasa de erosión general, como se muestra a continuación:

1.2.1 PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

En cuanto al clima, la ciudad de Tunja, posee un comportamiento bimodal, con periodos húmedos, que comprenden los meses de Marzo, Abril y mayo; nuevamente las lluvias incrementan hacia los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, con una temperatura promedio de 11,8°C; el resto del año, las precipitaciones descienden y así mismo las temperaturas aumentan, a aproximadamente 15,3°C como lo datan algunos registros de las estaciones meteorológicas del IDEAM: Pila la Finca, U.P.T.C y Villa carmen ubicadas en la ciudad y sus alrededores.

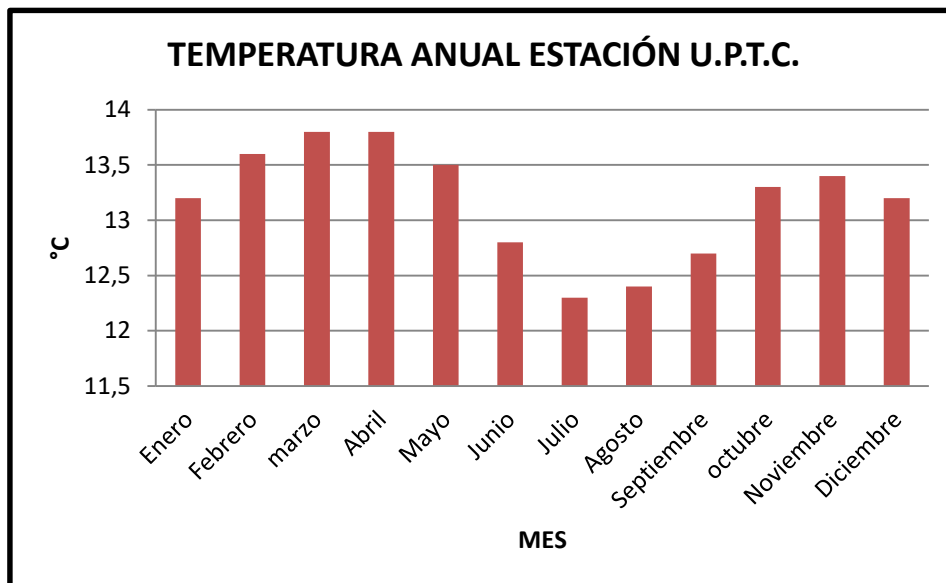
Su análisis, influencia y procesamiento de datos en la amenaza, será tratado adelante en la evaluación de la precipitación.

Figura 2. Precipitación anual estación UPTC



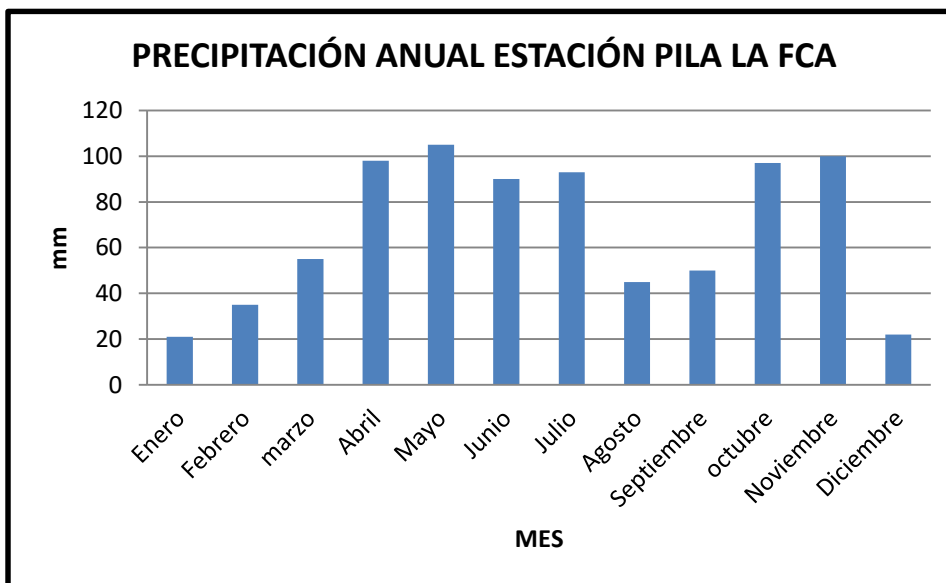
Fuente: Datos Ideam 2015, modificado por autores

Figura 3. Temperatura anual estación UPTC



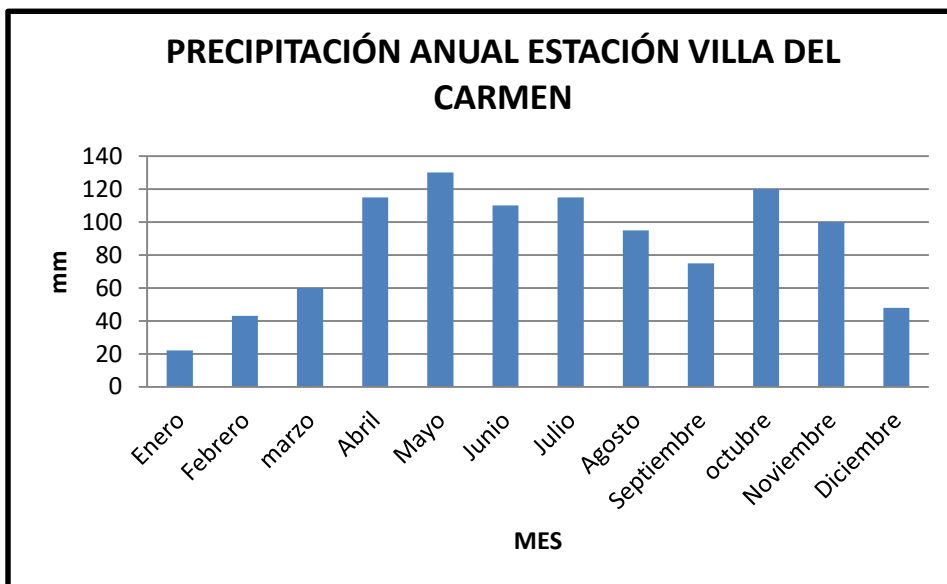
Fuente: Datos Ideam 2015, modificado por autores

Figura 4. Precipitación anual estación Pila la Faca



Fuente: Datos Ideam 2015, modificado por autores

Figura 5. Precipitación anual estación Villa del Carmen



Fuente: Datos Ideam 2015, modificado por autores

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Zonificación ambiental

La zonificación ambiental, es la base para determinar, como se deben utilizar de la mejor manera, los espacios del territorio, de una forma armónica entre quienes lo habitan y la oferta de los recursos naturales; es la carta de navegación, para orientar a los actos sociales, quienes intervienen y toman decisiones sobre sus actuaciones en la zona, buscando así un equilibrio hombre naturaleza¹.

- **Zonificación de amenazas naturales**

La zonificación de amenazas naturales hace parte del análisis integral de los recursos físico-bióticos del área. Se busca identificar las zonas que presentan amenaza de ocurrencia de desastres naturales y que signifiquen algún grado de riesgo para la población, la infraestructura y los recursos naturales.

2.2 Marco de antecedentes

Como antecedentes, se conocen trabajos realizados por profesionales afines a las ciencias de la tierra, quienes en un esfuerzo por solucionar problemas generados por los sistemas de carcamiento en Tunja han creado una diversidad de estudios como se puede observar en la Tabla 1:

Respecto a recopilación de información sobre zonificaciones o trabajos realizados anteriormente, este es el primer trabajo sobre evaluación y cuantificación del avance de la amenaza por erosión, ejecutado en la zona; Así mismo, en el área se han realizado estudios anteriores, en los cuales se ha descrito la geología de la zona; Los primeros estudios fueron realizados por el INGEOMINAS en el año de 1938 por Renz o. y Valencia R., reseña explicativa del mapa geológico plancha 191 a escala 1:100.000, donde se describieron las unidades de roca presentes en el área, la estratigrafía, tectónica, geología económica, geología histórica. Algunos otros estudios y entidades las cuales proporcionaron información son: Plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Tunja 2001, instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia (IDEAM) entre otros.

¹ Plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca hidrográfica de los ríos Sambingo–Hato viejo, Municipios de Bolívar, Mercaderes y Florencia, Departamento del Cauca

Tabla 1. Marco de antecedentes

TITULO	AUTORES	OBSERVACION
Trabajo de grado: Caracterización geomecánica de la cárcava el milagro de la ciudad de Tunja; Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ing. Luis Gabriel Fonseca Macías. ✓ Ing. Juan Pablo Monsalve Bonilla. 	Análisis de los tipos de erosión y factores detonantes, así como medidas para el control y estabilización de cárcavas.
Trabajo de grado: Clasificación de información de los sistemas de cárcavas en Tunja; Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ing. Jaime Edison Torres Pinzón. 	Observación y clasificación de los sistemas de cárcavas en la ciudad de Tunja.
Trabajo de grado: Erosión por flujo superficial y subsuperficial en los alrededores de la ciudad de Tunja; Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ing. Luis Alberto Cáceres Cárdenas. 	Clasificación y estudio de los sistemas de cárcavas según algunos parámetros establecidos como forma, profundidad entre otros, en los alrededores de la ciudad de Tunja.
Informe: Control de cárcavas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Secretaria de desarrollo rural y agricultura; Mexico. 	Estudio preliminar del control geotécnico en cárcavas.

Fuente: Autores

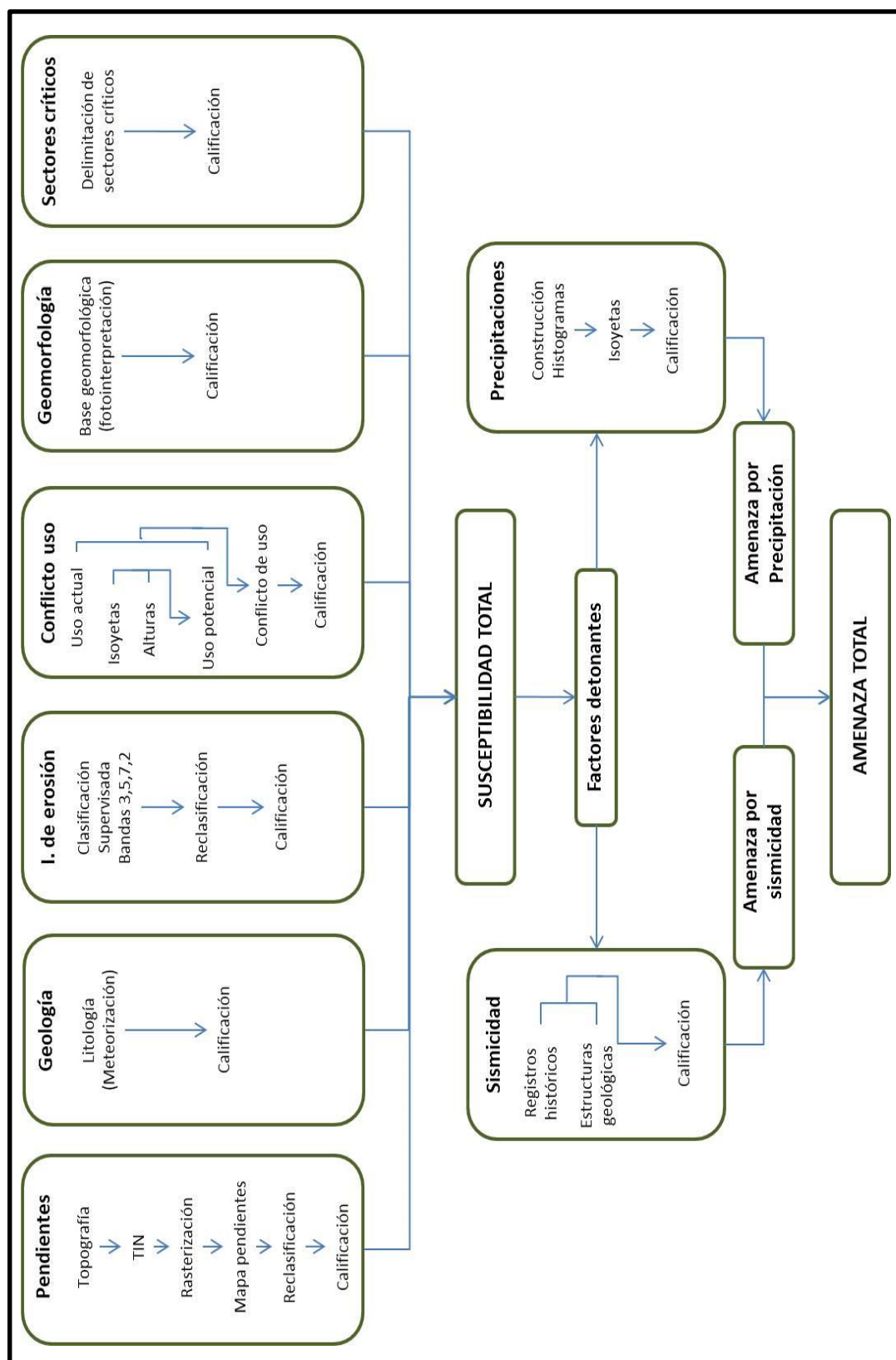
3. IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA AMENAZA

El principal objetivo de la evaluación de amenaza por erosión y por pérdida de áreas útiles, es pronosticar el comportamiento de las cárcavas potencialmente dañinas para el sector de interés, teniendo así una idea de la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno. De este modo se logra una valoración en las zonas de influencia de la amenaza.

METODOLOGÍA

Para poder establecer la amenaza de estos sistemas de erosión, se llevó a cabo una etapa de trabajo en campo y una fase de fotointerpretación multitemporal correspondiente al sector, con esta tarea, fue posible identificar aspectos evolutivos en las cárcavas, que permitieron establecer, tasas de crecimiento transcurrido en el tiempo analizado, que a su vez, proporciona una idea de cuanta área de utilidad ha variado respecto al crecimiento y/o disminución del evento erosivo, esta evaluación es complementada con características como: geológicas, geomorfológicas, de precipitación, topográficas, sísmicas, cobertura espacial e intensidad de erosión. De acuerdo a la anterior metodología, en la evaluación de la amenaza se trataron dos condiciones: susceptibilidad y factores intensificadores, que posteriormente con ayuda de un programa especializado en SIG serán interaccionadas para la identificación de la amenaza total, como se puede ver en la figura 6.

Figura 6. Flujoograma de metodología para la determinación de la amenaza



Fuente: Zonificación de amenazas en Yopal, UPTC, 2010, modificado autores.

Para lograr estandarizar la amenaza, se ha clasificado cada uno de los factores influyentes, de la siguiente forma: **1** amenaza baja, **2** amenaza media y **3** amenaza alta.

Tabla 2. Clasificación de la Amenaza.

<p>1. Amenaza Baja:</p> <ul style="list-style-type: none">- El peligro para las personas es débil o inexistente.- Las viviendas y edificios sufren daños leves o muy leves. <p>2. Amenaza Media:</p> <ul style="list-style-type: none">- Zona de reglamentación, donde hay daños ligeros a ligeramente moderados, pero pueden reducirse con medidas de precaución apropiadas. <p>3. Amenaza Alta:</p> <ul style="list-style-type: none">- Existe un alto peligro de daño u obstrucción representativa de viviendas y edificios, además una mayor interferencia en el desarrollo cotidiano de labores.- Esta zona es esencialmente una zona de prohibición y atención prioritario.
--

Fuente: Apoyo al componente rural de gestión del riesgo en el Municipio de Belen Boyaca, 2015, modificado por autores.

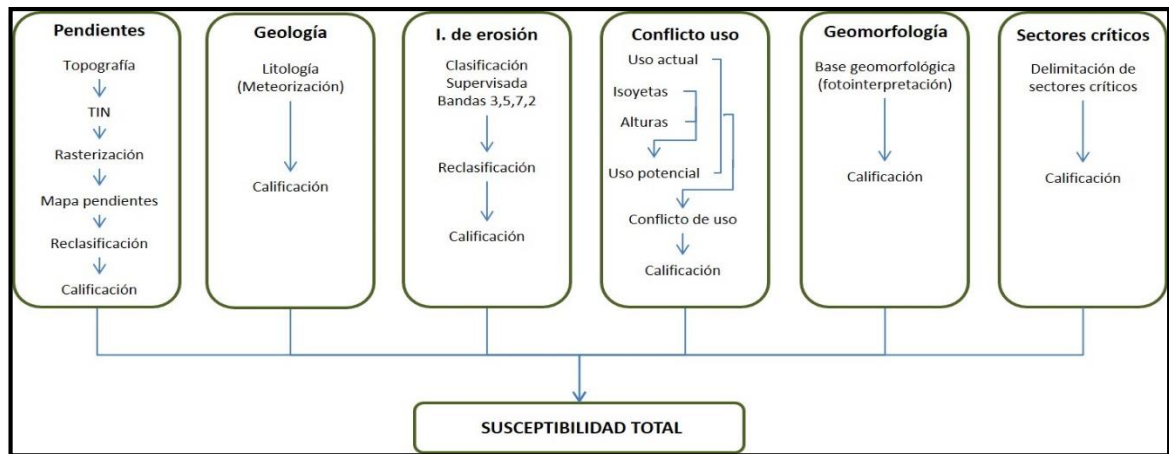
3.1 SUSCEPTIBILIDAD

La susceptibilidad es la evaluación cuantitativa o cualitativa de una región en la que existen o pueden existir fenómenos por erosión.

Para el desarrollo del factor susceptibilidad, se tuvieron en cuenta aspectos representativos, que influyeran niveles de predisposición al fenómeno por caracavamiento en la zona, como: geomorfología, geología, conflictos de uso de suelo, cálculos de pendientes e intensidad de erosión, como se puede ver en la figura 7.

Para ello, a continuación, se muestra la evaluación de cada uno de los factores constituyentes, para lograr obtener la susceptibilidad de la zona de estudio.

Figura 7. Flujograma de metodología para determinación de la susceptibilidad

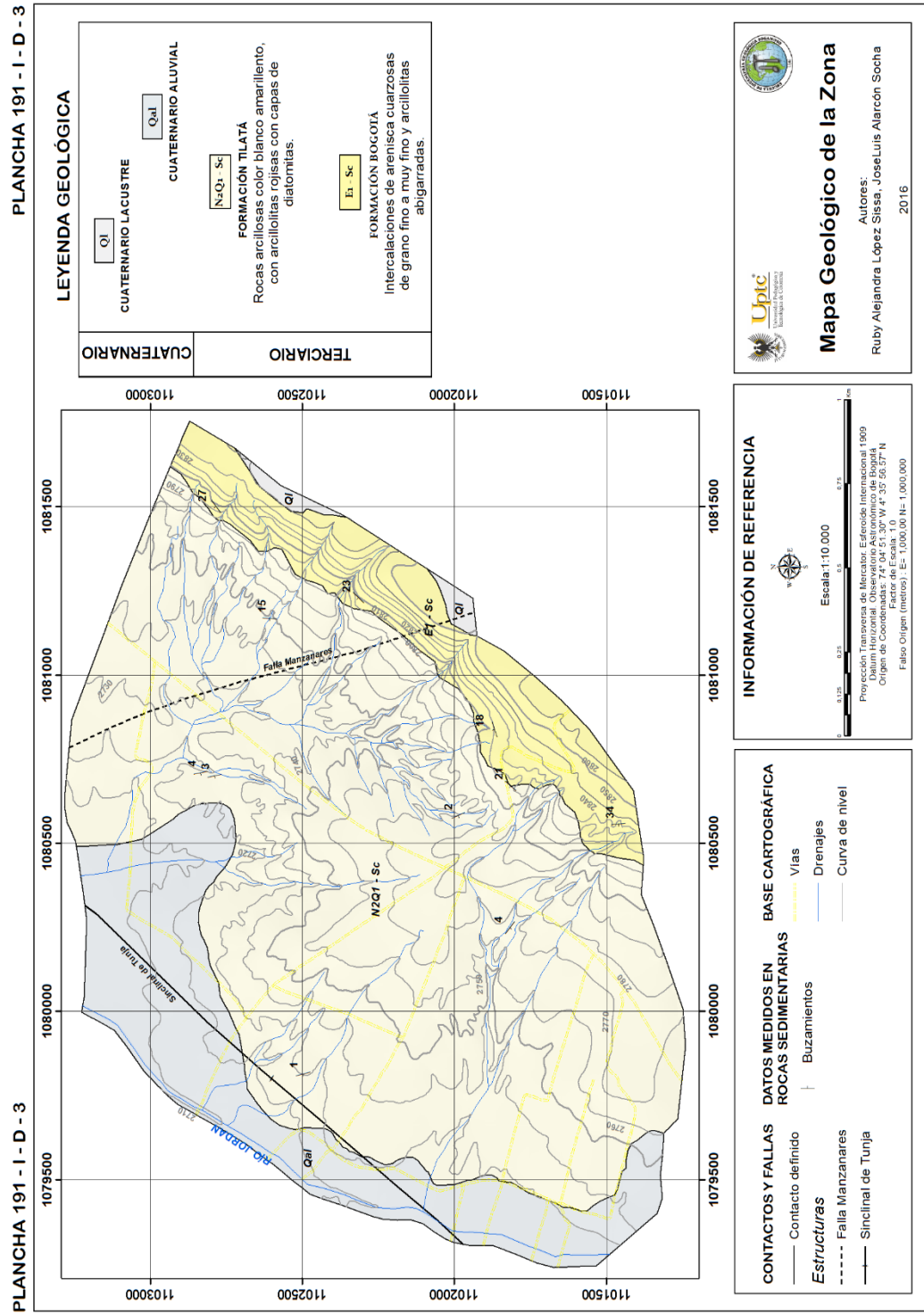


Funte: Zonificación de amenazas en Yopal, UPTC, 2010

3.1.1 Evaluación por susceptibilidad geológica:

Para la elaboración de la geología de la zona de estudio, se tomó como referencia la Plancha 191 de la ciudad de Tunja (Ingeominas 1998), la zona de estudio se encuentra en el sector este del sinclinal de Tunja, geológicamente el sector, está compuesto por unidades sedimentarias muy recientes (ver figura 7), lo que significa baja interacción grano a grano en su composición.

Figura 8. Mapa Geológico de la zona



Fuente: Autores

3.1.1.1 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía del sector cuenta con rocas terciario- cuaternarias como: la Formación Bogotá, la Formación Tilatá, los depósitos cuaternarios Fluviales del Río Jordán, además algunos depósitos de tipo Lacustre²; de acuerdo a características intrínsecas en cada una, éstas pueden ser susceptibles a la erosión. A continuación, se trata cada una de ellas, su respectiva litología y características principales:

- **Formación Bogotá (Tpb) Paleoceno Superior – Eoceno Inferior**

Esta formación presenta una sucesión monótona de arcillolita abigarrada de colores grisáceos, violeta y rojo en forma de bancos, y separados por niveles de areniscas arcillosas blancas a amarillas. En la zona de estudio se encuentran series en su mayoría arenosas la cuales oponen ciertamente el desarrollo de cárcavas, mas aún así, se pueden observar indicios de estas en los lugares donde afloran materiales cohesivos en los sectores aledaños a la vereda San carlos y las torres repetidoras de televisión situadas a lo largo del Alto de Tunja; debido a esto se le otorga a la formación Bogotá una susceptibilidad media

Figura 9. Formacion Bogota



Fuente: Autores

² Ingeominas 1976, Geología de la plancha 191 Tunja

- **Formación Tilatá (Tst) Plioceno – Pleistoceno Inferior**

En el área de estudio se encuentran arcillas con capas arenosas y cascajos friables fácilmente erosionables con algunas capas no mayores de 0.7m de diatomitas, que se evidencia por clastos matriz-soportados con poca interacción grano a grano. Esta formación se extiende en gran parte de la zona constituyendo el sustrato de los sectores con mayor población. De acuerdo a la numerosa presencia de cárcavas se considera a la Formación Tilatá como la más susceptible a este evento.

Figura 10. Formacion Tilata



Fuente: Autores

- **Cuaternario Fluvial (Qfl):**

Está constituido por grava, gránulos de arenisca blanca de grano fino con una matriz arcillosa y algunas arcillas amarillas; se extiende en la parte más baja en la zona estudio a lo largo del valle del Río Jordán y sus canales de confluencia. Debido a que no se presenta evidencia alguna de cárcavas se estima una susceptibilidad baja.

Figura 11. Cuaternario Fluvial

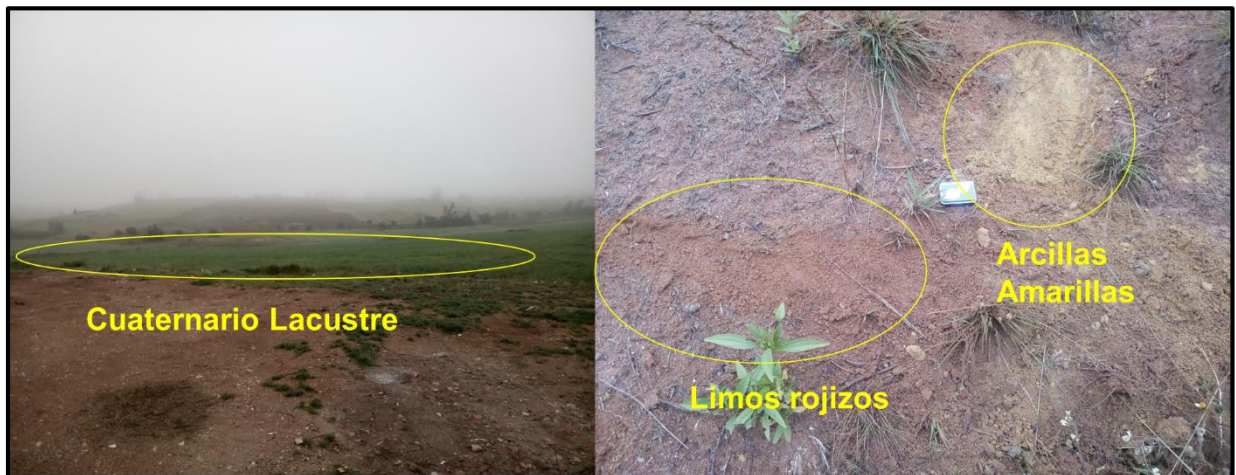


Fuente: Autores

- **Cuaternario Lacustre (Ql):**

Está constituido por una sucesión de arcillas plásticas, grisáceas, y blancas, con minúsculas manifestaciones de diatomitas aparentemente estratificadas. Se puede observar cuesta abajo una vez cruzado el Alto de Tunja por la vía que conduce hacia Soracá. De igual forma que el cuaternario fluvial este no tiene manifestación de carcavamientos, es decir, que su susceptibilidad es baja.

Figura 12. Cuaternario Lacustre



Fuente: Autores

Las unidades geológicas descritas anteriormente, fueron calificadas teniendo en cuenta la resistencia, textura y meteorización por erosión, en rangos de 1-2-3, donde los valores más altos hacen referencia a las formaciones más susceptibles a este fenómeno.

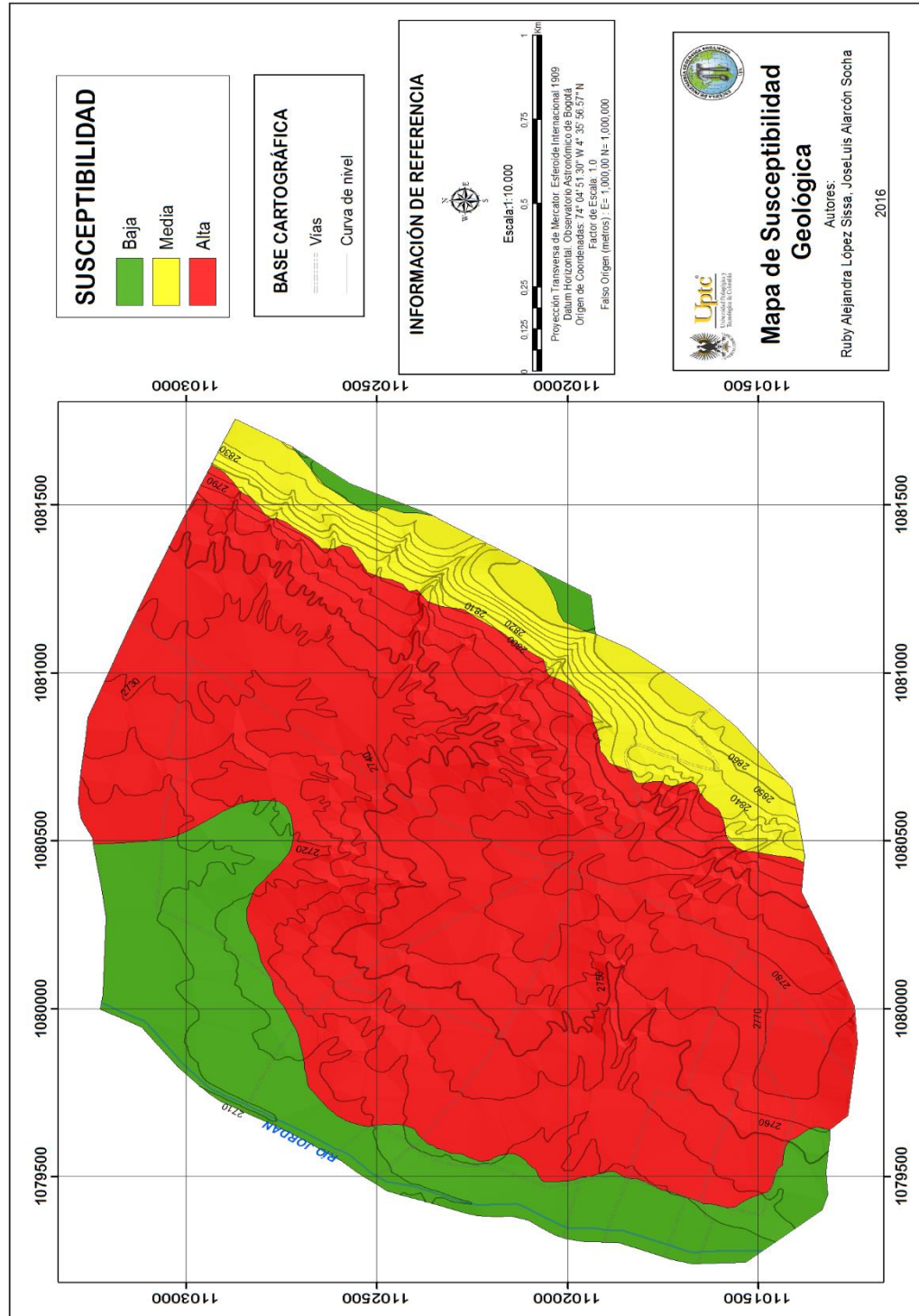
Tabla 3. Calificación por susceptibilidad en cada Formación

FORMACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACION
Formación Tilatá	ALTA	3
Formación Bogotá	MEDIA	2
Cuaternario Fluvial	BAJA	1
Cuaternario Lacustre	BAJA	1

Fuente: Autores

A continuación, se muestra la susceptibilidad geológica presente en las formaciones y su calificación (mostrada en la tabla 3), representados en el mapa de la figura 10:

Figura 13. Mapa susceptibilidad Geológica



Fuente: Autores

- **Análisis de resultados para mapa de Susceptibilidad Geologica:**

En el mapa de susceptibilidad geológica, podemos denotar que el mayor grado de susceptibilidad se genera en la Formación Tilata, donde observamos que debido a sus características litológicas (arcillosa), textura y grado de meteorización genera el mayor grado de susceptibilidad por geología en la zona, confirmándolo con las salidas a campo donde la mayor erosión y el fenómeno se presentan en esta formación; siguiéndole la Formación Bogotá con una litología areno-arcillosa, y meteorización media, viéndose en la zona de estudio zonas de erosión media (alto de tunja) y en mayor grado en las zonas más arcillosas hacia la parte baja del alto de tunja, finalmente las cuaternarias presentes en la zona debido a lejanía con el fenómeno no presenta erosión dándole una calificación de susceptibilidad baja.

3.1.2 Evaluación de susceptibilidad por Pendiente:

El parámetro pendiente para la evaluación de la susceptibilidad es un parámetro indispensable, indicando la energía y dirección de flujo del socavamiento.

Para la evaluación de las pendientes se ha tomado en cuenta la topografía presente en el sector, de acuerdo a la clasificación de pendientes según Ortiz³ para crecimiento de cárcavas, la calificación ponderada de las pendientes se realizó con base a su clasificación.

Tabla 4. Clasificación por el parámetro pendiente

PENDIENTE (GRADOS)	CLASIFICACIÓN	CALIFICACION	SUSCEPTIBILIDAD
0 – 3	Planicie	1	Baja
3 – 6	Ligeramente inclinado	2	Media
6 – 15	Deslizamiento	3	Alta
15 – 30	Deslizamiento	3	Alta
30 – 45	Caída libre	3	Alta
>45	Caída libre	3	Alta

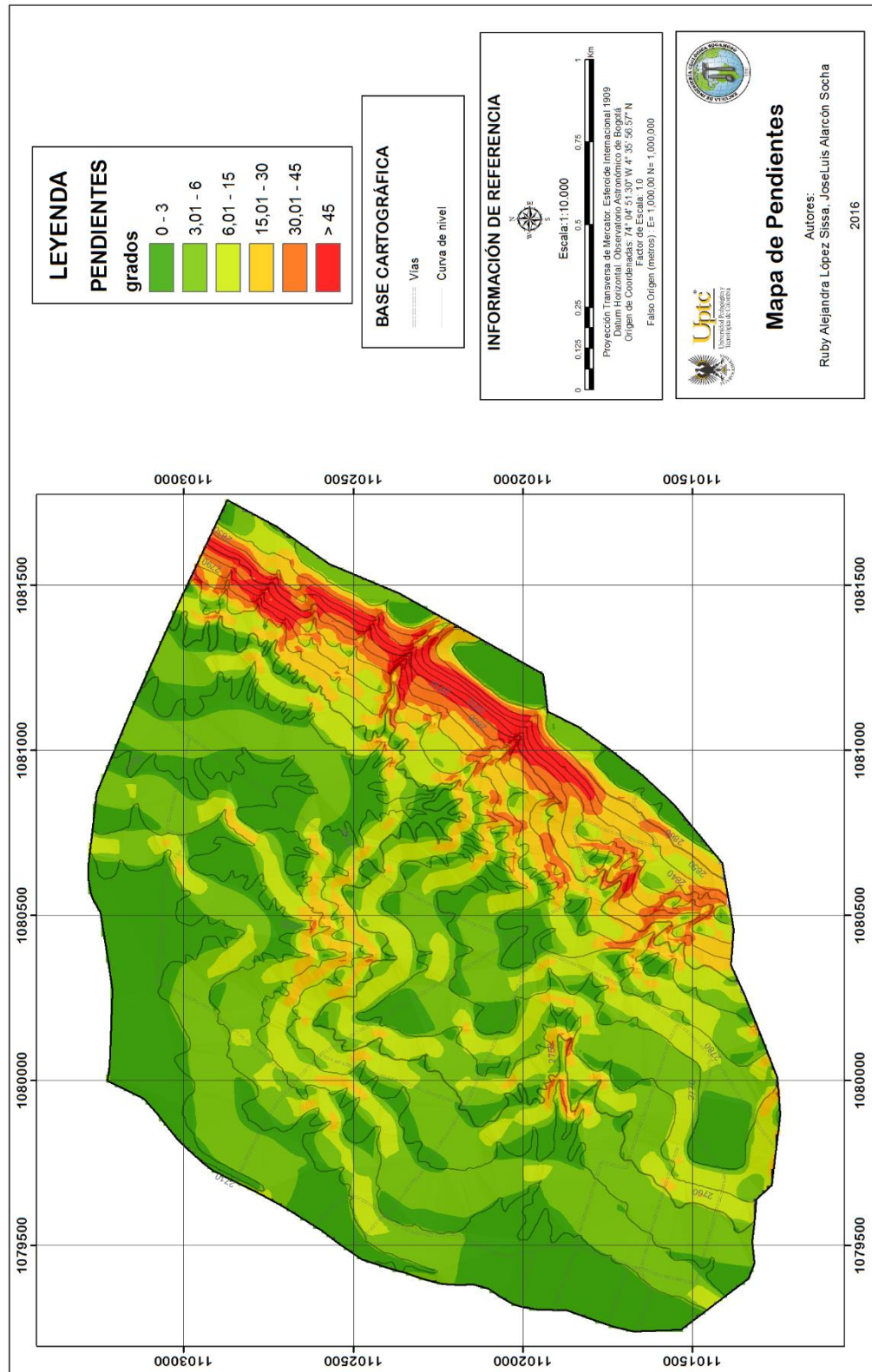
Fuente: Ortiz 1997, modificado autores.

³ Ortiz, clasificación de pendientes 1997; Modificado Autores

El estudio de las pendientes, determinó el grado de las zonas con mayor inclinación, las cuales son más erosionables; asociadas con caída libre, se encuentran las pendientes mayores a 30 grados, como son las paredes laterales de las cárcavas, de igual forma, las identificadas cuesta abajo del Alto de Tunja; deslizamiento, en las zonas donde la pendiente se cuantifica entre 6 a 30 grados, que predominantemente se concentran adyacentes a los sectores de cárcavas. Finalmente, las pendientes calificadas como bajas y medias, son aquellas relacionadas a los cuaternarios y en los lugares donde existe tejido urbano que no superan los 6 grados de inclinación; Indicando con esto, el valor de susceptibilidad, cuantificado, con una de escala de 1 a 3, siendo este último, el valor de mayor exposición para la generación de cárcavas por pendientes.

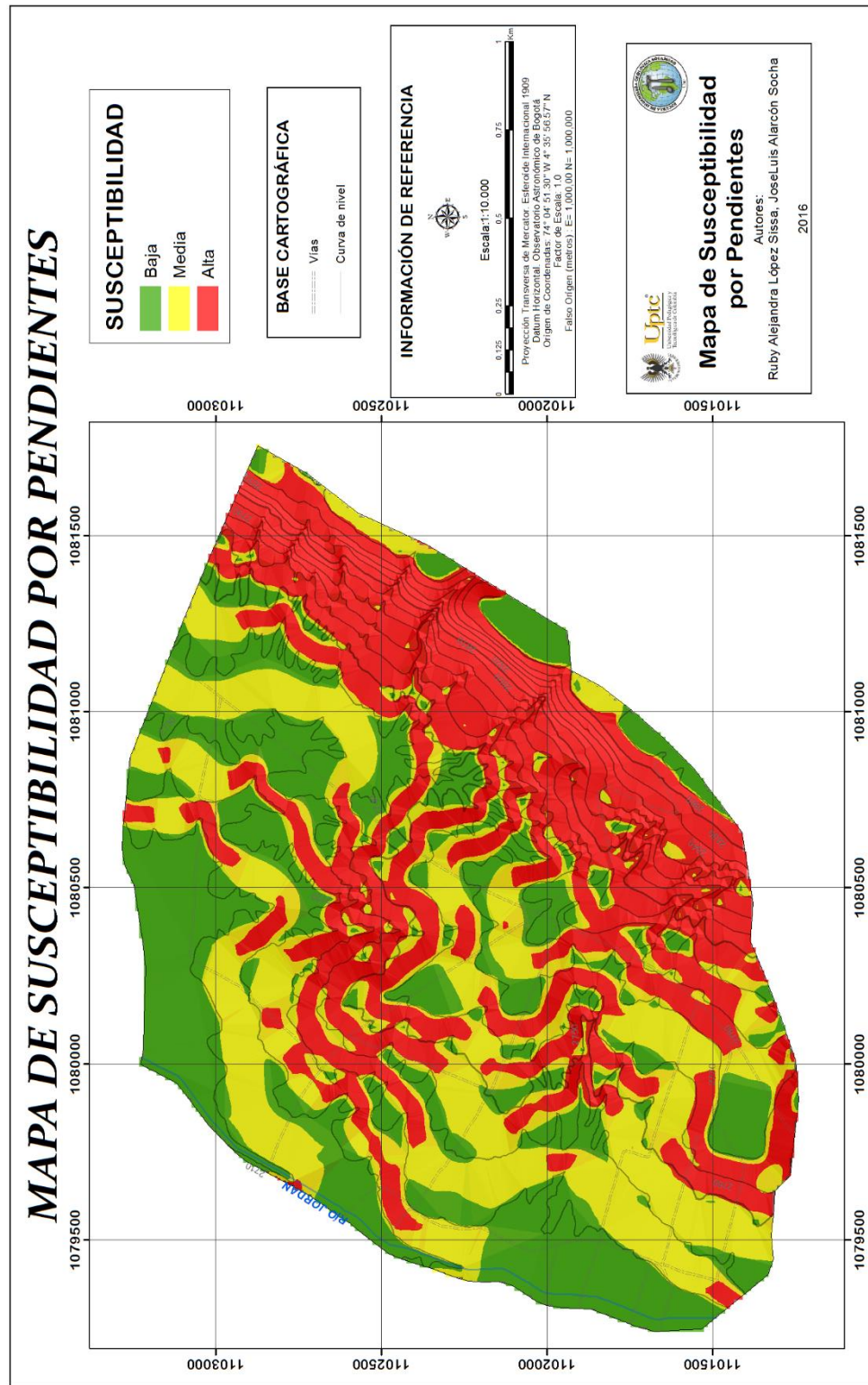
A continuación, se muestran los respectivos mapas: el mapa total de evaluación de pendientes general de la zona (figura 14) y el mapa de susceptibilidad por pendiente (figura 15):

Figura 14. Mapa de Pendientes de la zona.



Fuente: Autores

Figura 15. Mapa de susceptibilidad por Pendientes.



- **Análisis de resultados susceptibilidad por pendiente:**

En la susceptibilidad por pendientes, se nota claramente que en gran parte de la zona de estudio existe una susceptibilidad baja; las pendientes de mayor inclinación se presentan en el alto de tunja y en las paredes de las cárcavas dándole una calificación alta; finalmente en los lugares aledaños a las zonas donde se presenta el fenómeno presentan una inclinación leve dándole una calificación a estas pendientes de media.

3.1.3 Evaluación de susceptibilidad por geomorfología:

Dentro de las geoformas encontradas en el área de estudio, se destacan las formas erosivas denudacionales, las cuales moldean el paisaje y que además son el objeto del estudio realizado en este trabajo, en conjunto encontramos algunas de tipo estructural, fluvial y antropogénico como lo son:

Cárcavas: Terrenos que se componen de las zonas más áridas y que han sido severamente erosionadas, marcando canales de arrastre producidos por el agua cuya profundidad supera los 3 m⁴; para el área de estudio estas geoformas tienen una profundidad aproximada de 15m, se encuentran en gran parte de la zona y afectan lugares de actividad común humana como son: Barrio La Peñita, Barrio San Antonio, Barrio Los Patriotas, Barrio Unza, Parque centenario entre otros, (ver figura 16).

Figura 16. Geoforma cárcava.



Fuente: Autores

⁴ Carvajal.J, Glosario Geomorfologico, 2014

Glacis de erosión: Superficie de erosión larga a muy larga, cóncava y suavemente inclinada, esculpida en unidades rocosas de piedemonte, por procesos de escorrentía superficial, en condiciones climáticas áridas a semiáridas. Se caracteriza por el desarrollo de fuerte cárcavamiento y tierras malas, localizadas inmediatamente

adyacentes a zonas de cárcavas⁵, por esta razón estas zonas están propensas al proceso erosivo; geoforma ubicada en sitios de interés en la zona, en sectores como: parques, barrios y posibles zonas de cultivo que se ven afectadas, debido a esto, presentan alta susceptibilidad a procesos erosivos, (ver figura 17).

Figura 17. Geoforma glacis de erosión



Fuente: Autores

Ladera ondulada: Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo⁶. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales, en la zona de estudio, como la Formación Tilata, siendo la más afectada por el fenómeno, debido a que su proximidad a los sistemas de cárcavas es media y su pendiente es suavemente inclinada, favorece medianamente la susceptibilidad por erosión, (ver figura 18).

⁵ Carvajal.J, Glosario Geomorfológico, 2014

⁶ Carvajal.J, Glosario Geomorfológico, 2014

Figura 18. Geoforma ladera ondulada.



Fuente: Autores

Cauce aluvial: Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas⁷. En el costado oeste del área de estudio, encontramos estas geoformas en el cauce del Rio Jordán, para este caso, los efectos erosivos por carcavamiento, afectan nulamente las zonas contenidas, como resultado, se asigna una calificación baja en susceptibilidad, (ver figura 19).

Figura 19. Geoforma cauce aluvial.



Fuente: Autores

⁷ Carvajal.J, Glosario Geomorfologico, 2014

Ladera de contrapendiente sierra sinclinal: Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma irregular o escalonada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una sierra sinclinal⁸. Esta ladera principalmente compuesta por la Formación Bogotá, se encuentra al Este de la zona de estudio; aunque no se sitúa cerca al fenómeno, de acuerdo a su inclinación y material infrayacente, se otorga una susceptibilidad media de erosión por cárcavas, (ver figura 20).

Figura 20. Geoforma ladera de contrapendiente sierra sinclinal



Fuente: Google Earth, 2016, modificada por autores.

Planos y campos de llenos antrópicos: Planos hechos artificialmente con material de relleno, para acondicionar terrenos anegadizos, para la construcción de viviendas. Técnicamente son de gravas, bloques y arena, sin embargo, comúnmente son de escombros y desechos de construcción⁹. En su mayoría, estos rellenos en el área de estudio, antiguamente eran cauce de sistemas de cárcavas y aunque en la actualidad se encuentren visiblemente estables, se han realizado muy pocas prácticas técnicas para su estabilización, es debido a esto, que el efecto erosivo, así sea en menores proporciones, aún afecta medianamente estos lugares, por esta razón, se asigna una susceptibilidad media, (ver figura 21).

⁸ Carvajal.J, Glosario Geomorfologico, 2014

⁹ Carvajal.J, Glosario Geomorfologico, 2014

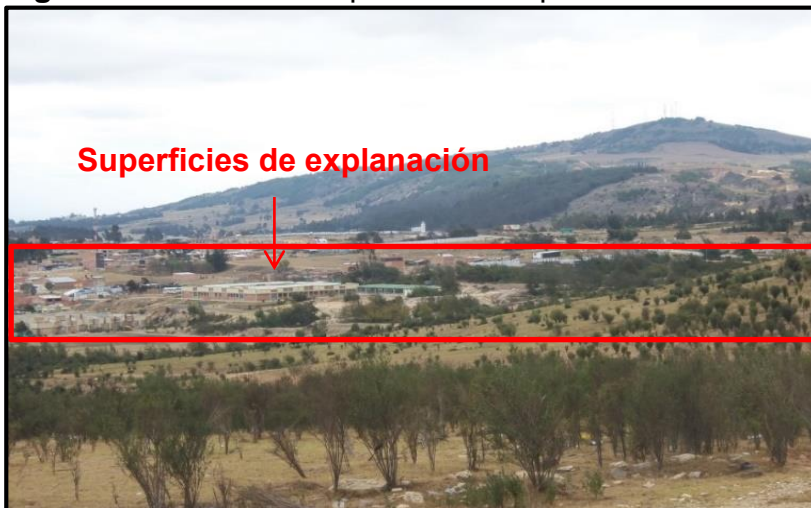
Figura 21. Geoforma campos y planos de lleno



Fuente: Autores

Superficies de explanación: Planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso y/o materiales inconsolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno¹⁰. Comprenden las edificaciones realizadas por el hombre en el sector y que han sido tratadas con mayor detalle técnico, así que descarta una moderada erosión por cárcavas, es decir, se trata de una baja susceptibilidad, (ver figura 22).

Figura 22. Geoforma superficie de explanacion.



Fuente: Autores

¹⁰ Carvajal.J, Glosario Geomorfologico, 2014

Ladera estructural: Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) a favor de la pendiente del terreno (ver figura 23). De longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros)¹¹. Esta geoforma, debido a su inclinación y ubicación en la zona de estudio, se le asigna una susceptibilidad media, ya que no se ve muy afectada por el fenómeno, pero su inclinación genera gran escorrentía.

Figura 23. Ladera estructural.



Fuente: Autores.

Terraplen vial: Relleno que se emplea para construir un camino o una estructura defensiva, o que se utiliza con el objetivo de ajustar algún espacio, (ver figura 24).

¹¹ Carvajal.J, Glosario Geomorfologico, 2014

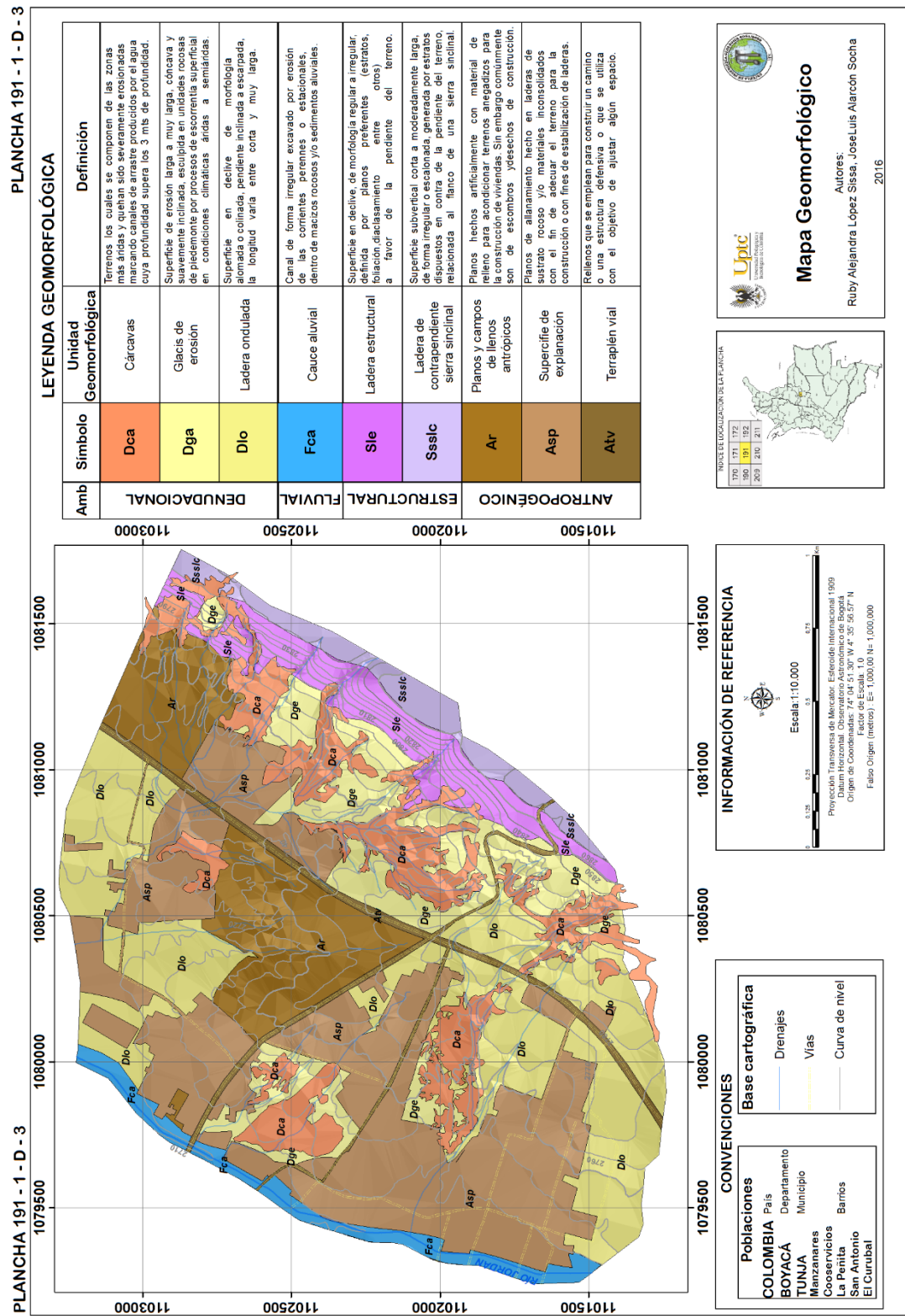
Figura 24. Terraplen Vial



Fuente: Autores

A continuación, se muestra el mapa geomorfológico de la zona (ver figura 24), su ambiente, símbolo, unidad geomorfológica, definición y ubicación en la zona de estudio:

Figura 25. Mapa Geomorfológico de la zona de estudio



Fuente: Autores

Las unidades geomorfológicas descritas, clasificadas por génesis u origen en un enfoque a determinar los factores que afectan la resistencia de los materiales, evidencian qué zonas son más dispuestas a ser afectadas por los factores climáticos dependiendo de su intensidad, mostrando la susceptibilidad a presentar erosión.

Para la calificación de la susceptibilidad geomorfológica se evaluaron factores característicos en las geoformas como: origen del material y degradación (ver figura 26). A continuación, se muestra la tabla con los valores asignados:

Tabla 5. Calificación por susceptibilidad geomorfológica

AMBIENTE	NOMBRE	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN
Antropogenico	Planos y campos de llenos antrpico	Media	2
Antropogénico	Terraplén vial	Baja	1
Antropogénico	Superficie de explanación	Baja	1
Denudacional	Cárcavas	Alta	3
Denudacional	Glasís de erosión	Alta	3
Denudacional	Ladera ondulada	Media	2
Estructurales	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	Media	2
Estructurales	Ladera estructural	Media	2
Fluvial	Cauce aluvial	Baja	1

Fuente: Autores.

- **Análisis de resultados por susceptibilidad geomorfológica:**

Para la susceptibilidad geomorfológica, se puede observar, que la alta susceptibilidad en la zona se presenta, en aquellos lugares donde se encuentran geoformas de ambiente tipo denudacional preferencialmente no en todos, una susceptibilidad media en ambientes tipo estructural en la mayoría de casos y una susceptibilidad baja en geoformas de ambiente tipo antropogénico.

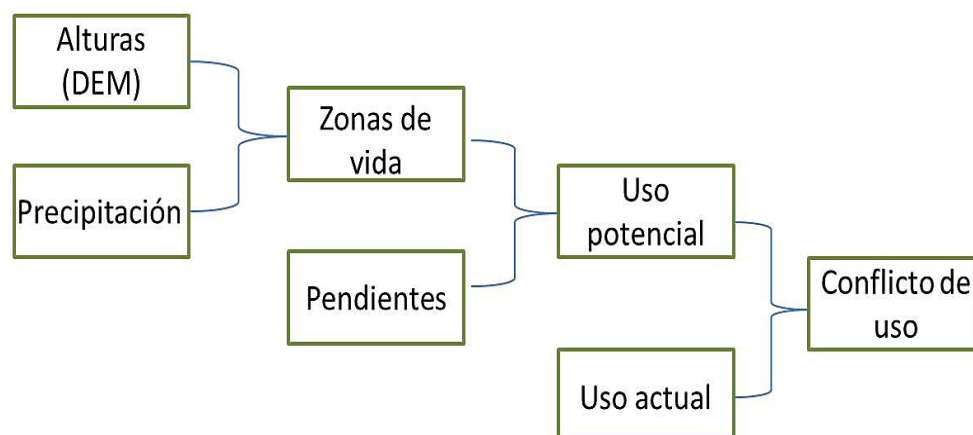
3.1.4 Evaluación de susceptibilidad por conflicto de uso:

El mapa de conflicto de uso muestra, de manera directa, la relación de diversas actividades humanas con respecto al manejo y uso del suelo, tarea que se obtiene a partir de la relación del uso actual y el uso potencial.

En el desarrollo del conflicto de uso es necesario un procedimiento de interacción de mapas, además, realizar la comparación entre la zonificación del uso potencial y uso actual, los cuales determinarán el factor de susceptibilidad. En la elaboración de estos mapas, se tomó en cuenta la metodología empleada en la Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga; de acuerdo a la plancha topográfica de la ciudad de Tunja se reclasificaron las alturas generando modelos de elevación, que junto a los datos recolectados de las estaciones meteorológicas como lo son: U.P.T.C, Pila La Fca, El encanto, Combita, Panelas y Villa del Carmen, fue posible elaborar el mapa de zonas de vida, que a su vez con la interacción del mapa de pendientes reclasificadas, conforme a la metodología de la guía, dio origen al mapa de uso potencial; finalmente, este mapa fue relacionado con el mapa, resultado de la fotointerpretación y reclasificación de la cobertura consignada en el uso actual del suelo, todo esto para la generación del conflicto de uso.

La siguiente es la forma metodológica para el desarrollo del mapa de conflicto de uso:

Figura 27. Flujograma para la realización de conflicto de uso



Fuente: Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga, 1990

3.1.4.1 Zonas de vida:

El sistema de clasificación fue establecido por L.R. Holdridge¹², es usado para establecer las diferentes áreas terrestres, según su comportamiento global bioclimático (Alturas, Precipitación y Temperatura para un ambiente ecuatorial). En este estudio no se tendrá en cuenta la temperatura. A continuación, se muestra la tabla de zonas de vida y sus respectivos rangos según Holdridge (ver figura 27).

Tabla 6. Clasificación zonas de vida según Holdridge

PRECIPITACION (mm)	ALTURAS (m)	ZONA DE VIDA
500-1000	2800-3800	Bosque húmedo montano
1000-2000	2000-2800	Bosque húmedo montano bajo
1000-2000	2800-3800	Bosque muy húmedo montano
2000-4000	2000-2800	Bosque muy húmedo montano bajo
2000-4000	800-2000	Bosque muy húmedo premontano
2000-4000	2800-3800	Bosque pluvial montano
500-1000	2000-2800	Bosque seco montano bajo
2000-4000	3800-4500	Paramo pluvial subalpino
500-1000	3800-4500	Paramo subalpino

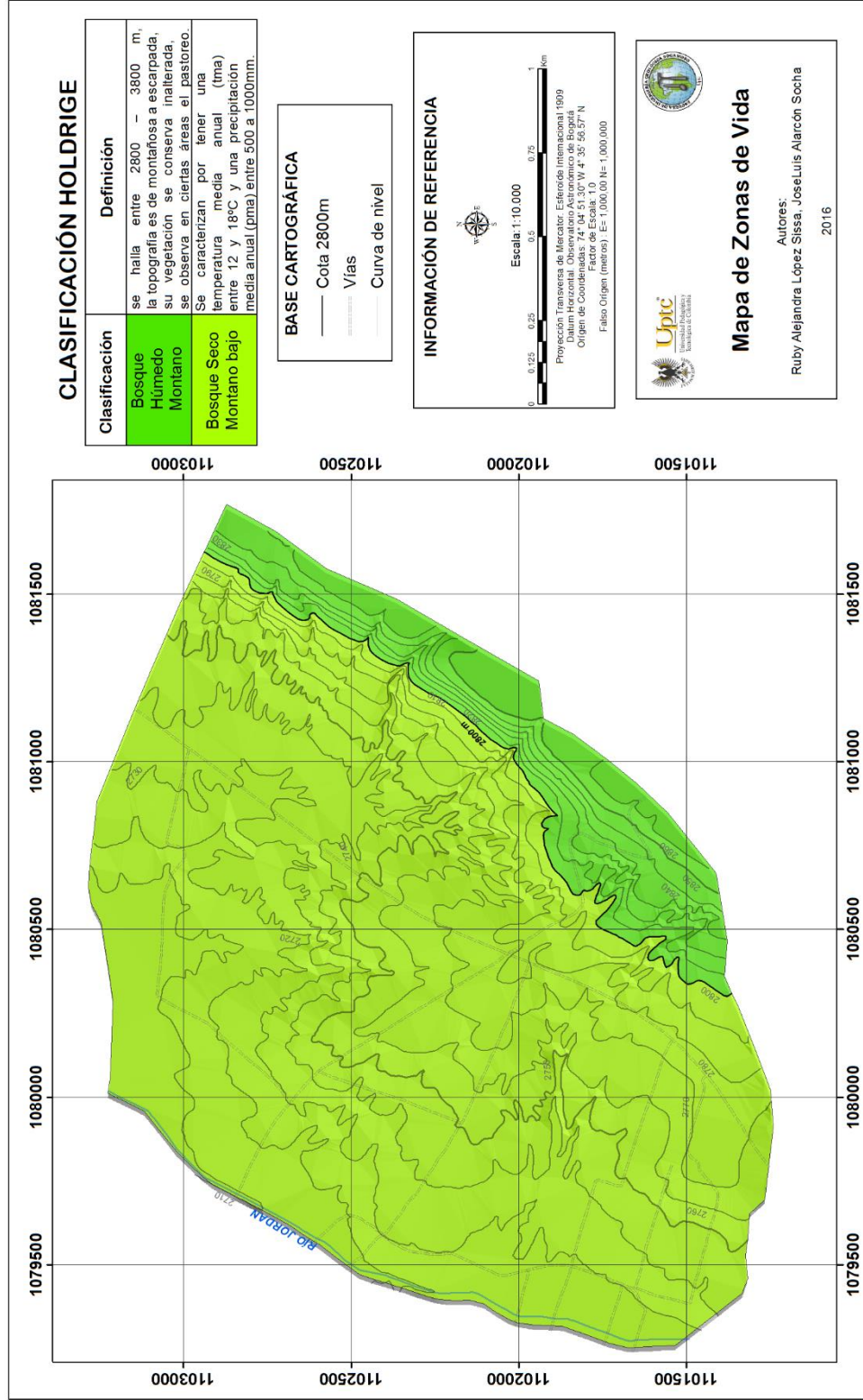
Fuente: Holdridge Leslie, Clasificación zonas de vida, 1971; modificado por autores.

¹² Holdridge Leslie, Sistema de zonas de vida, Modificado 1971

De acuerdo a la clasificación anterior, la zona de estudio se caracteriza por tener precipitaciones entre 760,88 mm a 811,64 mm y topográficamente cuenta con cotas de 2710 msnm a 2860 msnm, es decir que posee dos zonas de vida las cuales son: Bosque seco montano bajo y Bosque húmedo montano, aunque se encuentran grandes zonas reforestadas con pino pátula y esporádicos bosques comerciales de eucalipto que empobrecen el suelo e impiden el crecimiento de vegetación rastrera¹³.

¹³ Tunja 2001, Plan de ordenamiento territorial

Figura 27. Mapa de zonas de vida



Fuente: Autores

3.1.4.2 Uso actual:

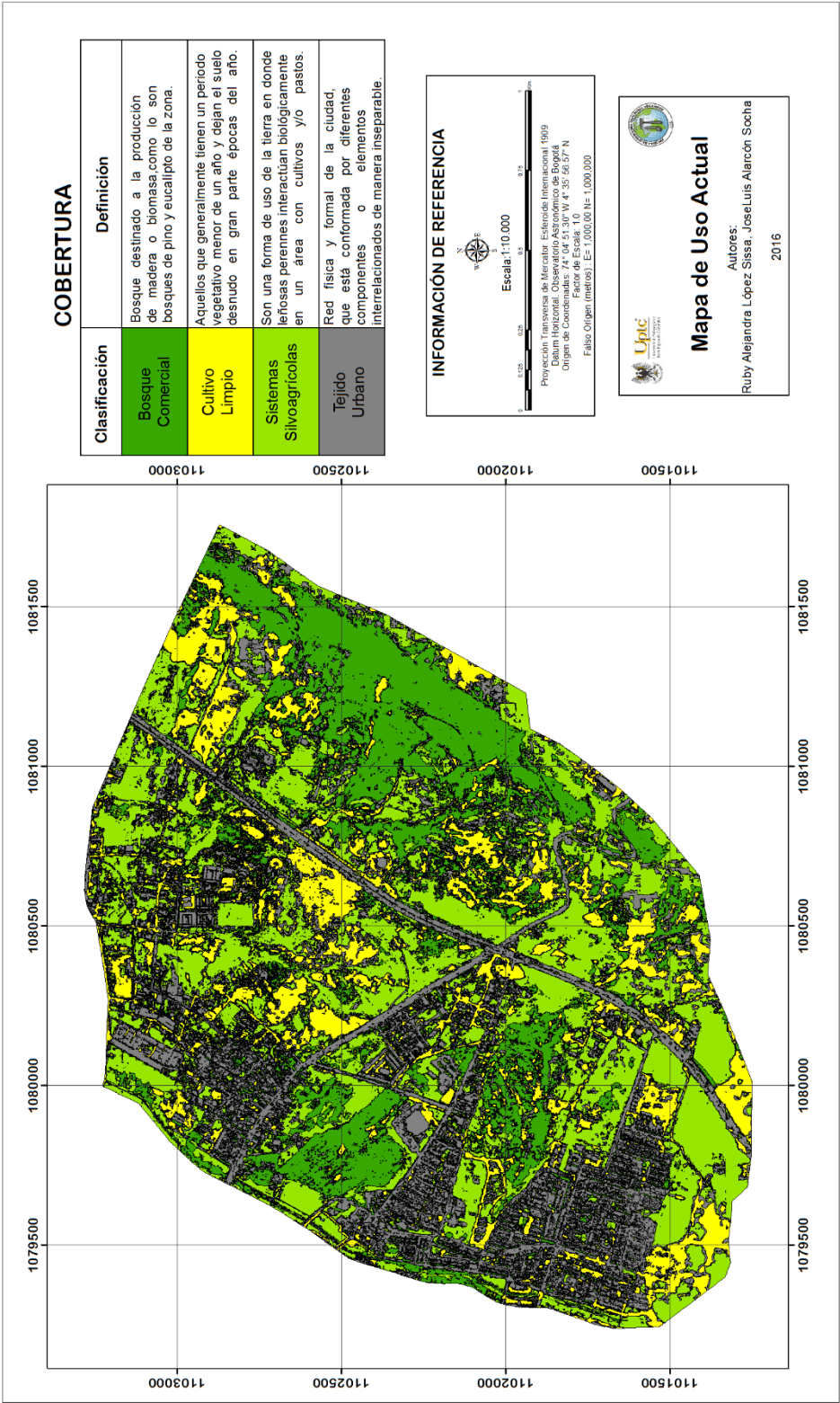
Como su nombre lo dice el uso actual es aquel uso que se le está dando al suelo en cuanto a la cobertura. Para la generación del mapa de Uso actual se realizó la clasificación supervisada de una imagen Landsat RGB, a partir de puntos de control en una clasificación supervisada, además con una posterior verificación en campo, donde se pudieron observar 4 distintas clases de coberturas, las cuales fueron: Bosques comerciales, conformados por eucaliptos y pinos presentes en la zona; cultivos silvoagrícolas, están compuestos principalmente por pastos y rastrojos; tejidos urbanos, son todas las edificaciones en los barrios y urbanizaciones que están en el suroeste de la ciudad; Finalmente, los cultivos limpios son aquellos lugares donde se ve expuesto el suelo o roca, (ver figura 28).

Tabla 7. Uso actual del suelo

USO ACTUAL	CONTIENE
Bosques comerciales (Bc)	En la zona se pueden identificar por eucaliptos y pino patula.
Cultivos silvoagricolas (SI)	Están compuestos principalmente por pastos y rastrojos.
Tejido urbano (Tu)	Son todas la edificaciones en los barrios y urbanizaciones.
Cultivos limpios (CI)	Lugares en la zona de estudio donde se ve expuesto el suelo o roca.

Fuente: Guia de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga, 1990, modificado por autores.

Figura 28. Mapa de uso actual



Fuente: Autores

3.1.4.3 Uso potencial:

Se define como la capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal. Esta capacidad natural se puede ver limitada por la presencia de procesos erosivos severos y muy severos, por la profundidad efectiva, por el grado de pendiente, por las características químicas y físicas de cada suelo, por niveles freáticos fluctuantes, por el régimen de lluvias, entre otras¹⁴. A continuación, se muestra la tabla de rangos de uso potencial, los cuales varían según su zona de vida, (ver figura 29).

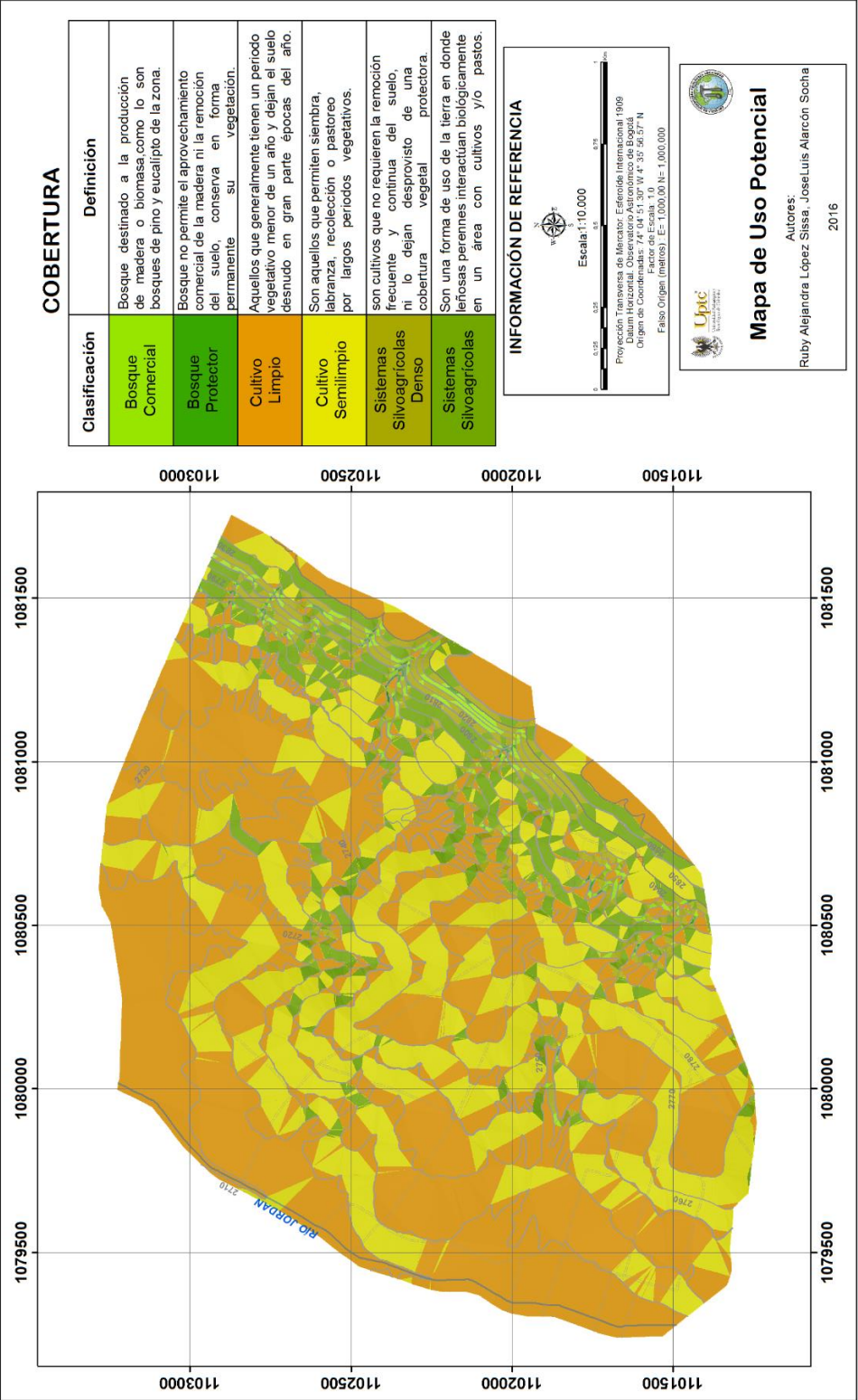
Tabla 8. Rango para uso potencial

Superficial < 25 cm	>		Protección Absoluta
	0 - 5		Cultivo Limpio
	5 - 12	Profundo > 60 cm	Cultivo Limpio
		Mod. Profundo 25 - 60 cm	Cultivo Semilimpio (Agrícola)
Mod. Profundo a Muy Profundo > 25 cm	12 - 30	Profundo > 60 cm	Cultivo Semilimpio (Agrícola)
		Mod. Profundo 25 - 60 cm	Cultivo Semilimpio (Pastoreo)
	30 - 50	Profundo > 60 cm	Sistema silvoagrícola (Semilimpio)
		Mod. Profundo 25 - 60 cm	Sistema Silvopastoril
	50 - 70		Sistema Silvoagrícola (Denso)
	70 - 100		Bosque Comercial
	>100		Bosque Protector

Fuente: Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga.

¹⁴ Paren, G.ET al.1990 Guía de planificación de unidades familiares de producción. Corporación de defensa de la Meseta de Bucaramanga, Bucaramanga, enero de 1990

Figura 29. Mapa de uso Potencial



Fuente: Autores

3.1.4.4 Conflicto de uso:

Se obtuvo de la superposición y análisis de las temáticas de Uso Actual y Uso potencial del Suelo, para determinar su grado de discrepancia o similitud. En el estudio de amenazas por movimientos en masa, las zonas de conflicto indican el efecto que tiene la actividad antrópica sobre los suelos. “El conflicto de uso permite establecer una comparación en el uso real y el uso potencial, con el fin de evaluar el estado de los recursos naturales e identificar áreas que pueden degradarse como consecuencia de uso inadecuados”¹⁵.

Se realizó una interacción de las coberturas de uso actual y uso potencial en Arcgis 10.2 y se compararon mediante el sistema de clasificación establecido en la guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga, que califica el grado de conflicto de uso, (ver tabla 9).

Tabla 9. Sistema de comparación de conflicto de uso

USO ACTUAL O USO ACORDADO	USO POTENCIAL												
	CL	CSL (a)	SA (l)	CSL (p)	SA (sl)	CD	SP	SA (d)	SA (cl)	BC	BPP	BP	PT
CL													
CSL (a)													
SA (l)													
CSL (p)													
SA (sl)													
CD													
SP													
SA (d)													
R													
SA (cl)													
BC													
BPP													
BP													
PA													

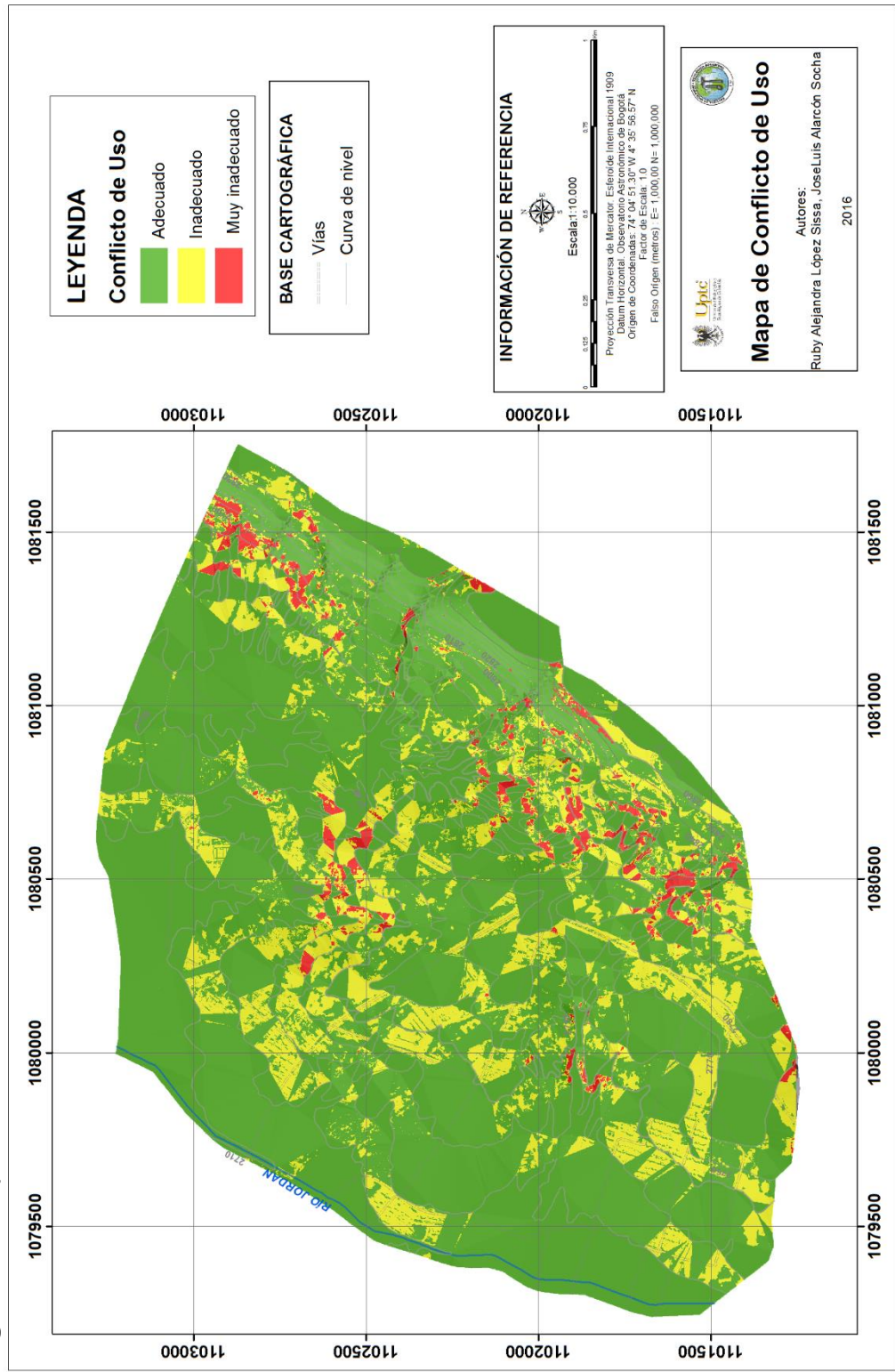
Fuente: Guía de planificación de unidades familiares de producción de la meseta de Bucaramanga

Para la calificación establecida por la guía de planificación (tabla 9), se ubica el uso actual de suelo (parte izquierda) y se cruza con el dato de uso potencial (parte superior derecha), así finalmente se obtiene la calificación de adecuado, inadecuado, sub utilizado y muy inadecuado

Posteriormente, se muestra el mapa por conflicto de uso (ver figura 30):

¹⁵ Paren, G.ET al.1990 Guía de planificación de unidades familiares de producción. Corporación de defensa de la Meseta de Bucaramanga, Bucaramanga, enero de 1990

Figura 30. Mapa de conflicto de uso



Fuente: Autores

- **Análisis de resultados mapa conflicto de uso:**

El mapa de conflicto de uso, muestra que en el área de estudio gran parte de ella, el suelo tiene un uso adecuado en barrios como: Barrio Curubal, La peñita, sectores aledaños al Río Jordan, entre otros; el uso muy inadecuado se presenta en sectores cercanos al Alto de Tunja y en algunas partes cercanas al fenómeno por erosión del Barrio Manzanes. El uso inadecuado en el área de estudio se encuentra en sectores cercanos al fenómeno por cárcavamiento.

3.1.5 Evaluación de susceptibilidad por intensidad de erosión

La erosión es la degradación y el transporte del suelo o roca que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra, existen varios agentes que aceleran la generación de estos procesos, entre estos está la circulación del agua, esta indica el grado de degradación del suelo y pérdida de cobertura vegetal a mayor intensidad de erosión mayor susceptibilidad a presentarse el fenómeno de cárcavamiento.

Debido a que el principal agente protector del suelo es la vegetación entonces el punto de partida para la evaluación por intensidad de erosión será la participación de este agente que beneficia la conservación del suelo. Se pudieron definir 4 clasificaciones de uso de los cuales se pudo definir un valor de susceptibilidad para cada uno:

- ✓ Baja, se presenta en zonas donde se encuentran bosques comerciales como lo son bosques de eucalipto y pino encontrados a lo largo del alto de Tunja.
- ✓ Media, en zonas de cultivos silvoagrícolas que se manifiestan en espacios de praderas donde se encuentran pastos bajos que cuentan una gran cantidad de ocupación del área de estudio, además el tejido urbano donde se encuentran todos los espacios construidos por el hombre.
- ✓ Alta, en zonas donde ya se ha perdido la cobertura vegetal como cultivos limpios.

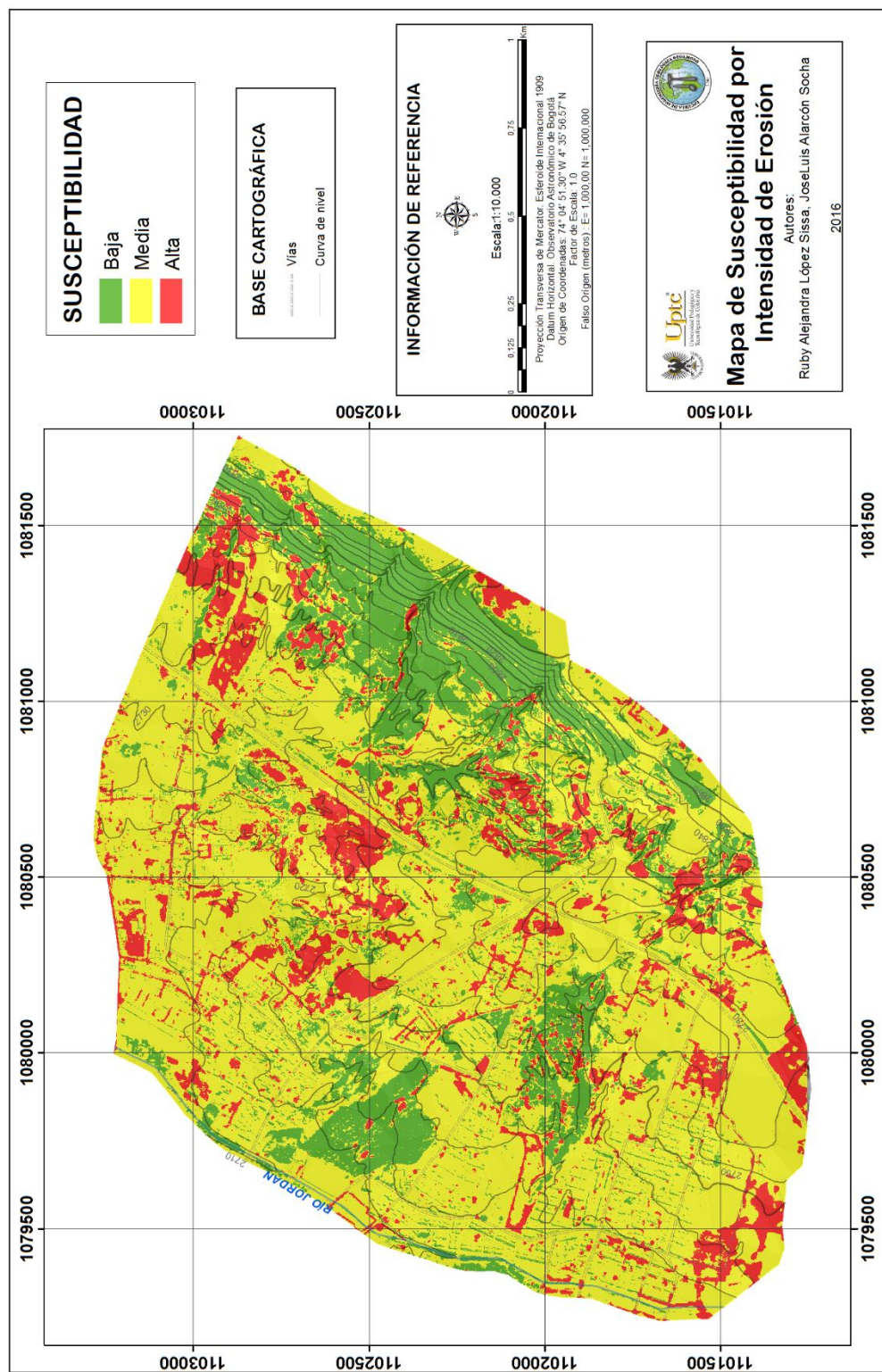
Tabla 10. Clasificación susceptibilidad intensidad de erosión.

CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
Bosques comerciales	1	Baja
Cultivos silvoagricolas	2	Media
Tejido urbano	2	Media
Cultivos limpios	3	Alta

Fuente: Autores

Posteriormente, se muestra el mapa de intensidad de erosión (ver figura 31):

Figura 31. Mapa de Intensidad de Erosion



Fuente: Autores

- **Análisis de resultados susceptibilidad por intensidad de erosion:**

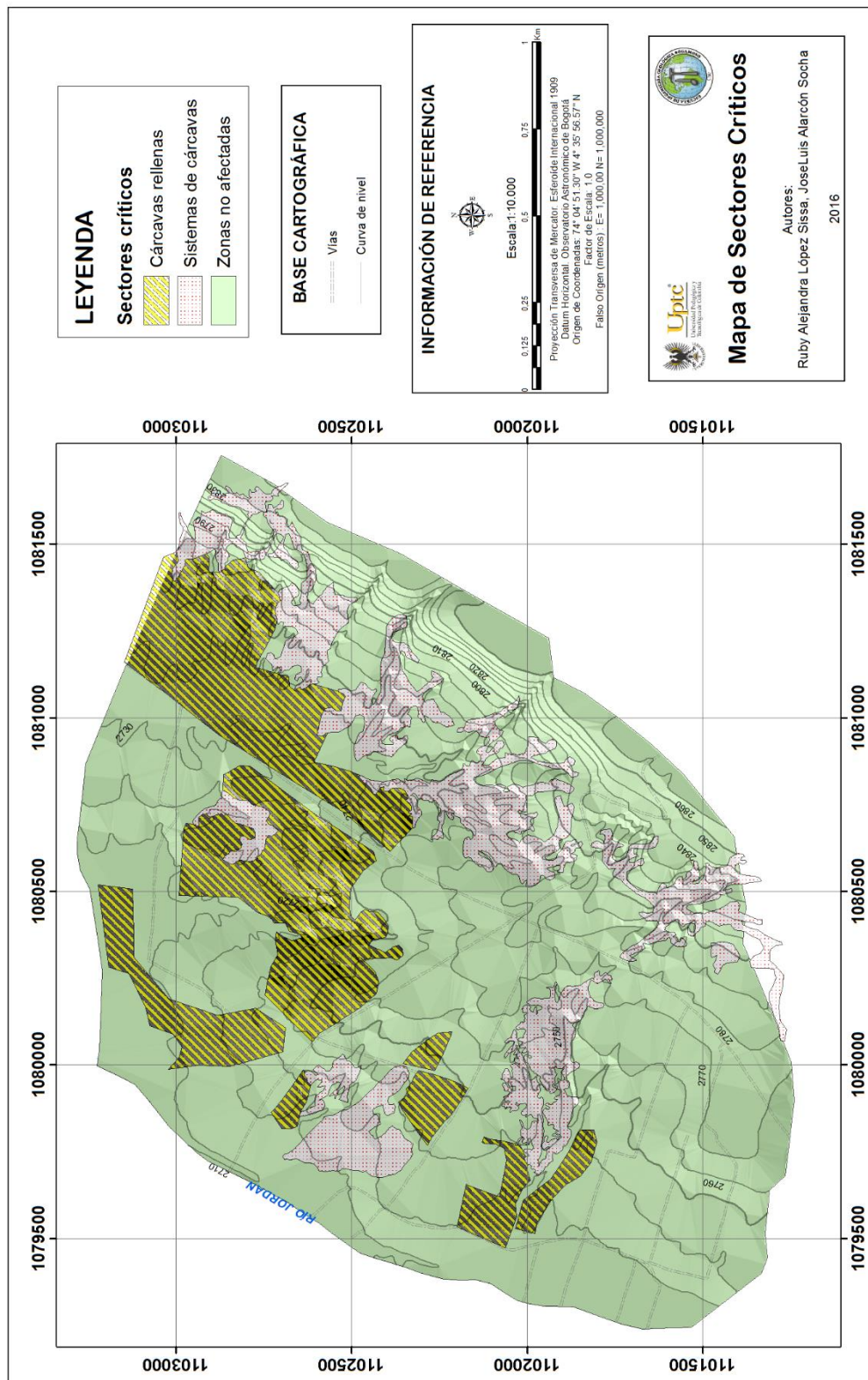
Para el mapa de susceptibilidad por intensidad de erosion, es claro que existe en la zona de estudio una susceptibilidad media, la susceptibilidad alta en la zona, se presenta en las áreas donde el grado de degradación del suelo y pérdida de cobertura vegetal es alto, se corrobora esto en campo y se noto que áreas de susceptibilidad alta son aquellas aledañas a las zonas donde el fenómeno por erosion (carcavamiento) se genera; la susceptibilidad baja se nota claramente en lugares donde la cobertura vegetal es amplia.

3.1.6 Evaluación de susceptibilidad por sectores críticos:

La evaluación de sectores críticos para el estudio se elaboró con base en la definición de los sectores de mayor importancia en la zona por el fenómeno de erosión. Para el caso particular se toma en cuenta la delimitación de cárcavas del año 2015, también aquellos lugares donde se presentó el fenómeno, pero en la actualidad existe relleno y aquellos lugares que no han sufrido ningún tipo de afectación.

Para la generación de este mapa se realizó con ayuda de un SIG (Arcgis 10.2), se realizó la delimitación de zonas de cárcavas año 2015 y zonas de cárcavas rellenas, la interpolación de estos dos factores, genero el mapa de sectores críticos (ver figura 32).

Figura 32. Mapa de Sectores Críticos



Fuente: Autores

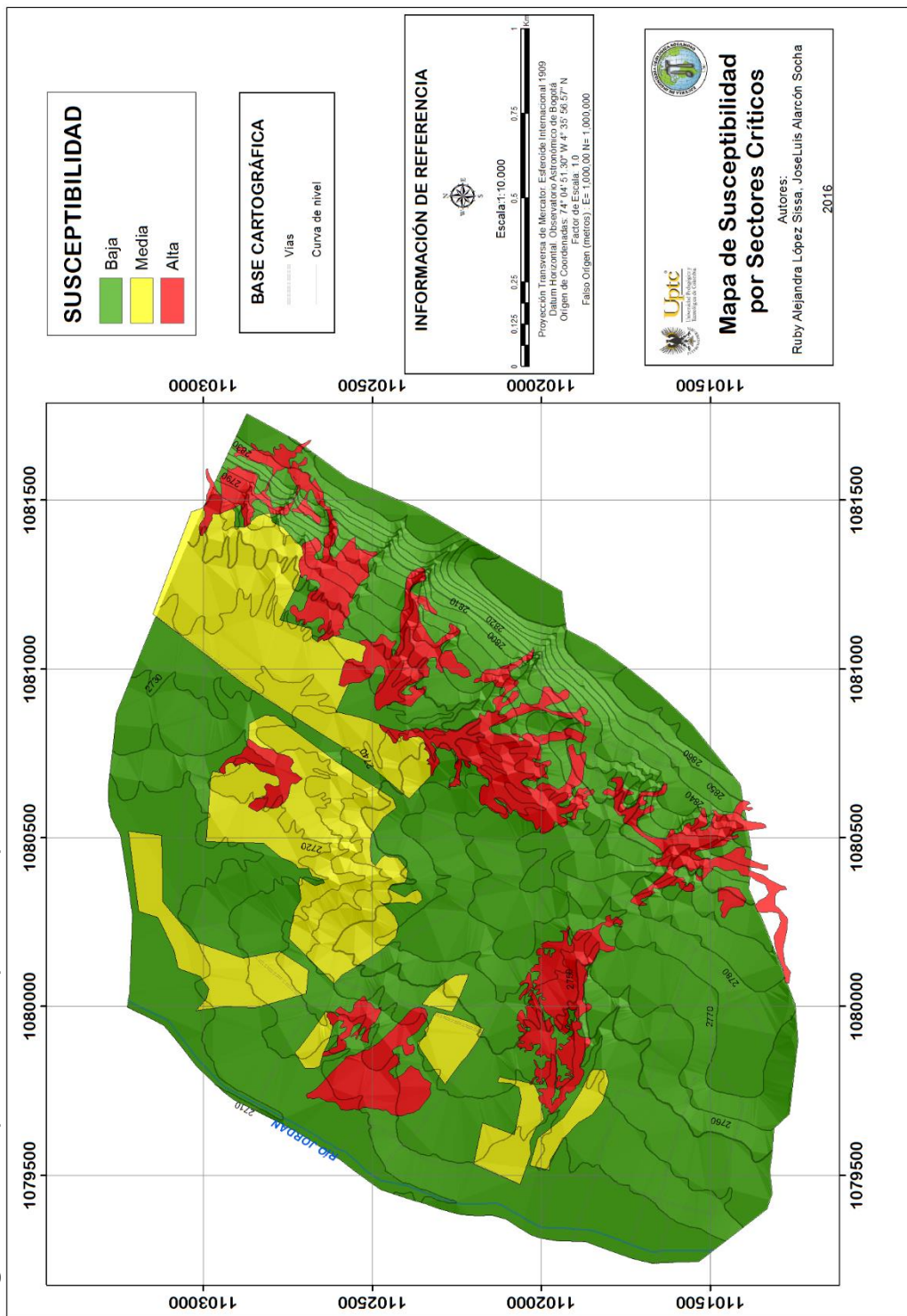
A continuación, se muestra la calificación por susceptibilidad dada, para esta calificación se le asignó susceptibilidad alta a las cárcavas presentes en el año 2015, susceptibilidad media a las cárcavas que han sido rellenas para la construcción, en algunos casos inadecuadamente y sin seguimiento, finalmente una susceptibilidad baja a sectores sin afectación alguna por el fenómeno (ver figura 33):

Tabla 11. Clasificación por susceptibilidad sectores críticos

CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
Cárcavas 2015	3	Alta
Cárcavas rellenas	2	Media
Sectores sin afectación	1	Baja

Fuente: Autores

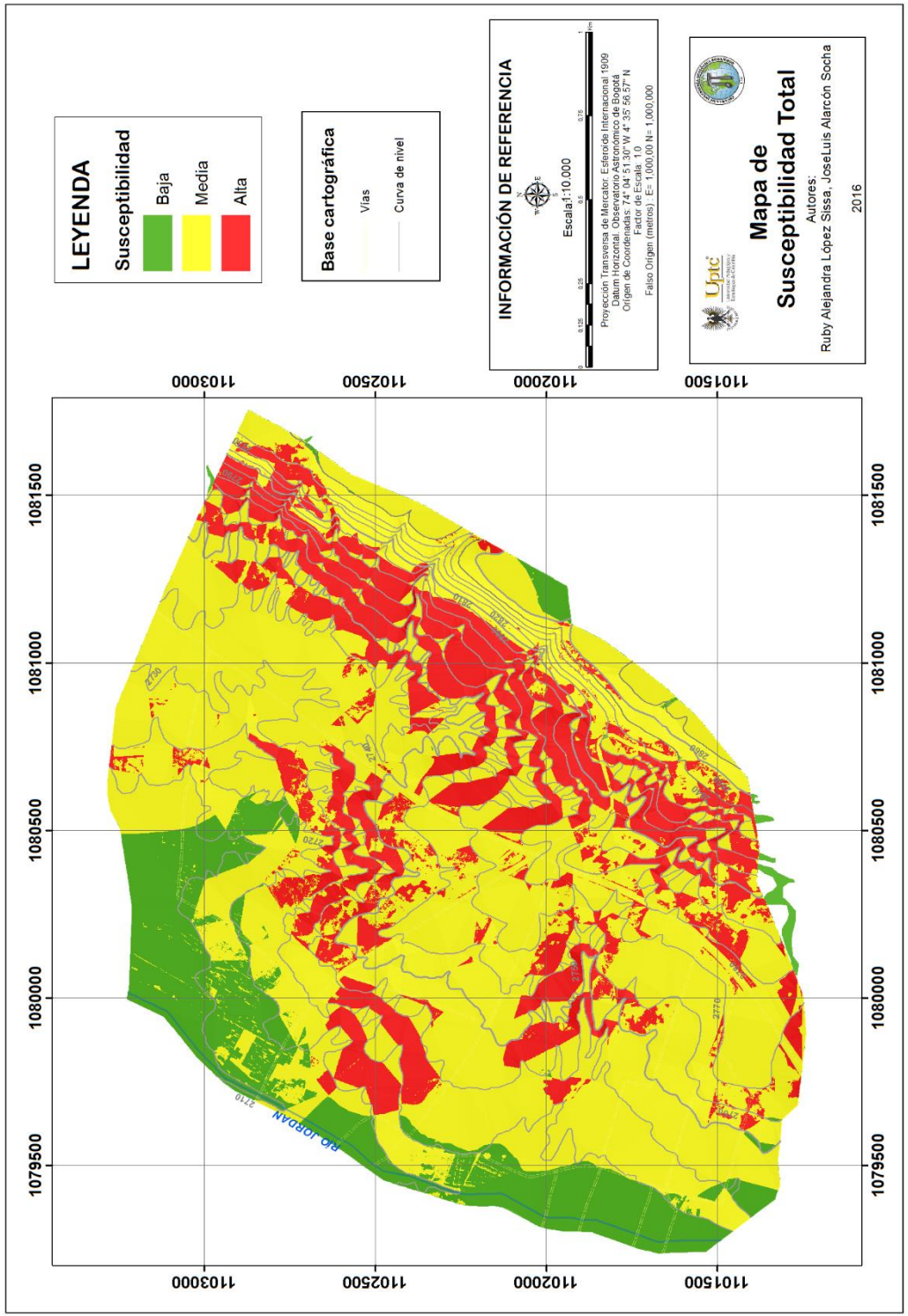
Figura 33. Mapa de susceptibilidad por Sectores Críticos



Fuente: Autores

MAPA DE SUCEPTIBILIDAD TOTAL

Figura 34. Mapa susceptibilidad total



Fuente: Autores

ANALISIS SUSCEPTIBILIDAD TOTAL:

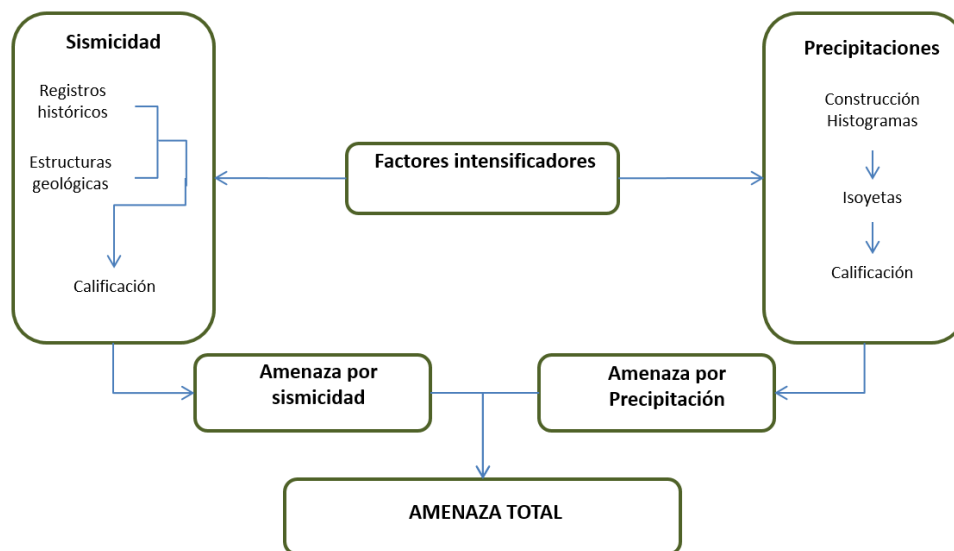
Para el mapa de susceptibilidad total, se concluye que, en el área de estudio predomina una susceptibilidad media en sectores como: Barrio Manzanares, Barrio Cooservicios, Barrio la peñita; para el sector el Ato de Tunja, Barrio Patriotas y Barrio Unza, predomina una susceptibilidad alta, finalmete esta es baja en sectores aledaños al Rio Jordán.

3.2 FACTORES INTENSIFICADORES

Para realizar la zonificación de amenazas, hay que tener en cuenta otros factores como son los intensificadores; Estos son aquellos que intensifican este fenómeno y su evaluación, permiten reconocer amenazas relativas por agentes sísmicos y atmosféricos; donde se evaluaron cargas sísmicas en conjunto de estructuras geológicas desfavorables y cantidad de precipitaciones representadas anualmente.

Se debe tener claro que de los factores que posteriormente se va a hablar, no son factores súbitos o detonantes, son factores intensificadores, entendiéndose por estos, como aquellos que aumentan la tasa de crecimiento de material erosionado, en consideración a un lapso de tiempo, relativamente más corto que lo normal, para ello se requiere analizar cada factor individualmente y ser comparado con la susceptibilidad al fenómeno.

Figura 35. Flujoograma para la determinación de la amenaza por factores intensificadores



Fuente. Zonificación de amenazas Yopal UPTC, 2010; modificado autores

3.2.1 Amenaza relativa por precipitación:

La interpolación espacial de las precipitaciones en las estaciones; El encanto, Villa del Carmen, U.P.T.C, Panelas, Combita y Pila la Finca; de las cuales ya fue hablado anteriormene en el numeral 1.2.1 (precipitación y temperatura), que permitieron la generación del mapa de isoyetas regional (figura 35) y local (figura 36), donde se analizó información en un período desde 1980 a 2010 considerando la tasa de precipitación anual con el cual se realizó el análisis de la amenaza:

Tabla 12. Tasa de precipitación anual promedio de los años 1980- 2010 y estaciones meteorológicas

ESTACION	PRECIPITACION (mm/año)	E	N
Pila la Fca	795	1086537,345	1101530,88
UPTC	702,9	1080991,749	1105210,343
Panelas	808,7	1077287,015	1114422,07
Combita	835,4	1084676,007	1112588,055
El Encanto	699,2	1084678,41	1110744,791
Villa Carmen	737,5	1066222,252	1099664,188

Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (Ideam), 2015, modificado por autores

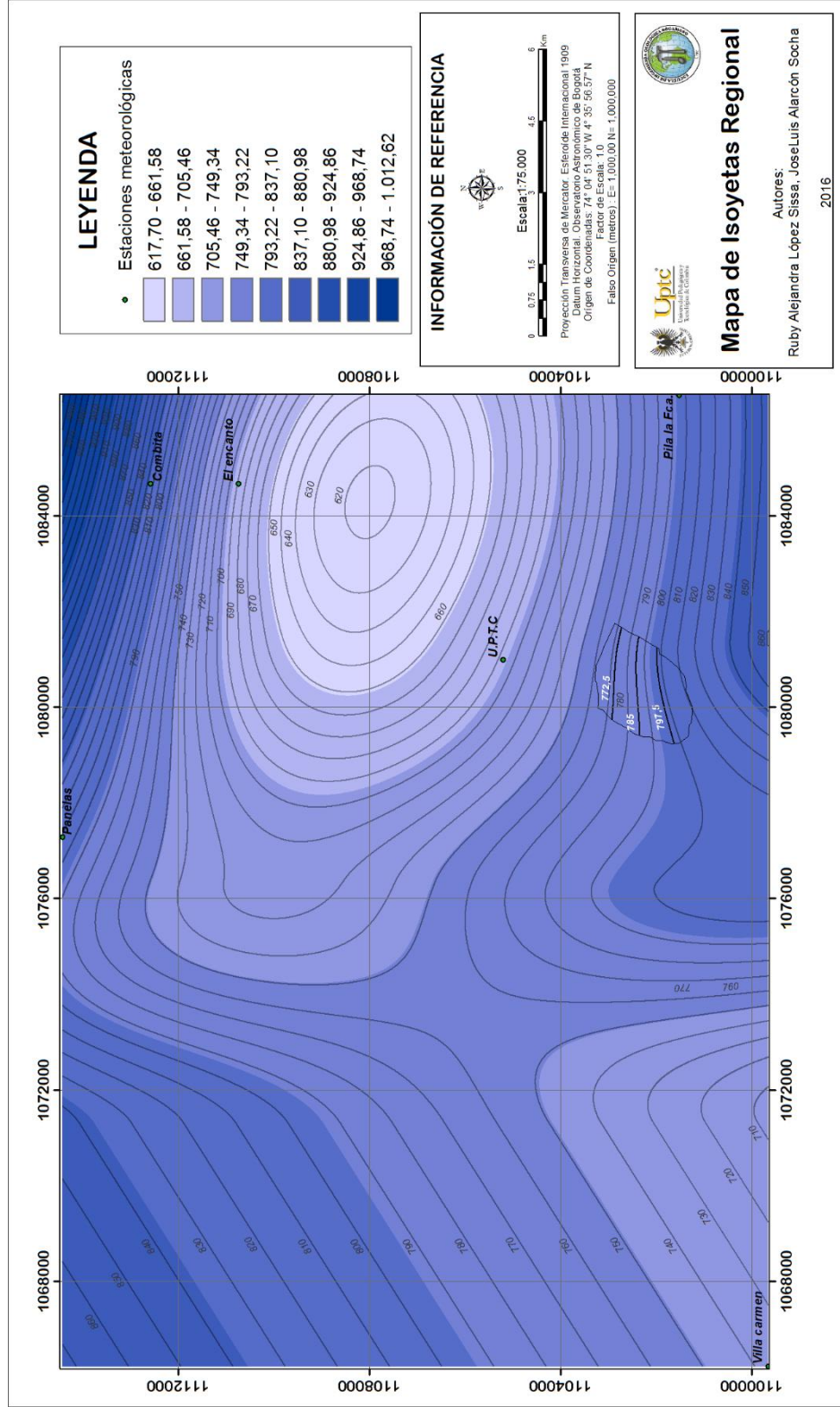
Para determinar el nivel de amenaza por precipitaciones del sector se consideraron los siguientes parámetros de acuerdo a la clasificación dada por Ortiz 1997, donde le asigna una calificación de alta, medio o bajo a las presipitaciones que se presentan en la zona, para nuestro caso, la calificación obtenida es (ver tabla 13):

Tabla 13. Calificación por la variable meteorología.

PRECIPITACION (mm/año)	CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN
760,88 – 772,5	BAJA	1
772,5 – 785	MEDIA	2
785,001 – 797,5	MEDIA	2
797,501 – 811,64	ALTA	3

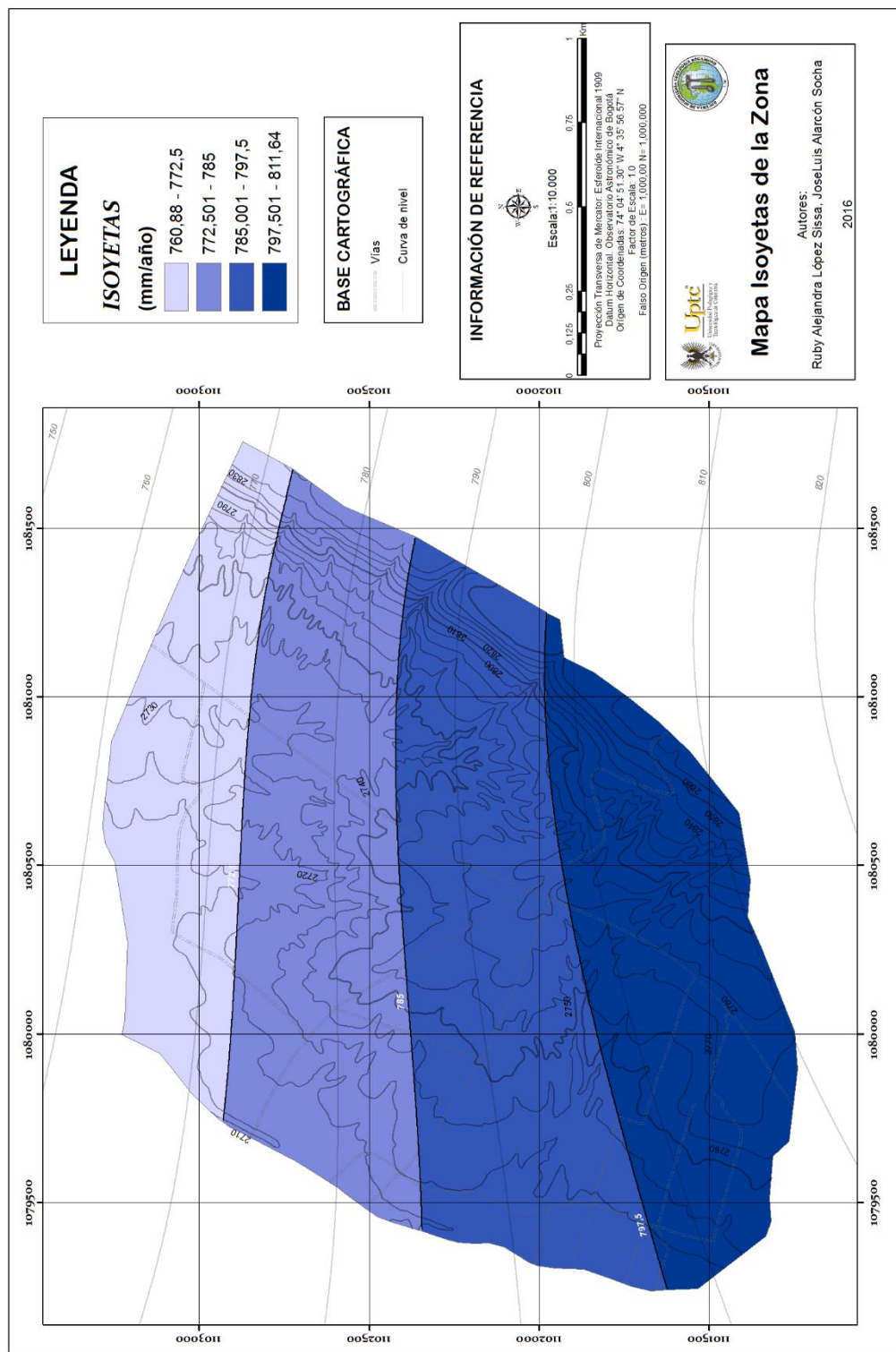
Fuente: Ortiz, clasificación precipitación, 1997, modificado por autores

Figura 36. Mapa Isoyetas Regional



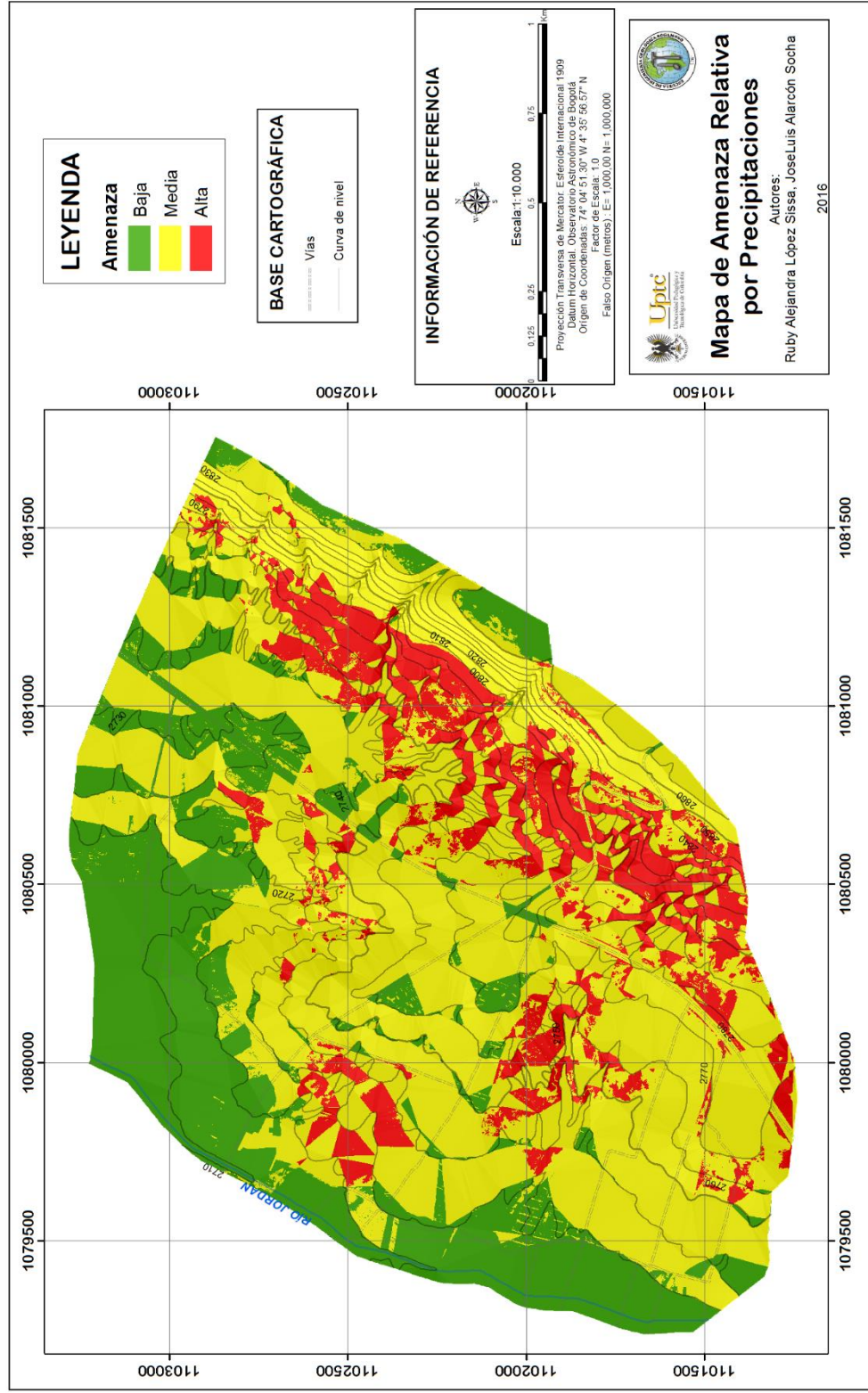
Fuente: Autores

Figura 37. Mapa Isoyetas de la Zona



Fuente: Autores

Figura 38. Mapa de amenaza relativa por precipitaciones



Fuente: Autores

3.2.2 Amenaza relativa por sismicidad

Dentro de la zona de estudio se pueden apreciar la Falla Manzanares

FALLA MANZANARES

Se extiende desde el sureste en el Alto de Tunja hacia el noreste con un rumbo de N 14° W, esta falla de rumbo corta la formación Tilatá y parte de la formación Bogotá, se pierde su continuidad hacia el Barrio Curubal, tal vez sepultada por sedimentos más recientes. Se le otorga a la falla Manzanares un campo de acción de aproximadamente 150 mts de lado a lado; por tratarse de una falla menor con una aceleración de 0,2g, considerando un mayor posible efecto perjudicial en la zona en un modelo conservador de análisis.

Para el modelo sísmico realizado, se procesaron datos de percepciones sísmicas históricas de aproximadamente 250 años, en escala Mercalli, adquiridos del servicio Geológico Colombiano de la ciudad de Tunja y ciudades aledañas (ver figura 39); para el cálculo de la amenaza por origen sísmico, se realizó la conversión de Mercalli a aceleración horizontal sísmica, de acuerdo a la tabla 14, posteriormente se utilizó la calificación de la amenaza sugerida en la tesis realizada por el *Msc. Pablo Antonio Garzón Casares*¹⁶, para fenómenos de remoción en masa y modelos sismo-resistentes.

Tabla 14. Escala de Mercalli

Escala Mercalli	Aceleración Sísmica (g)	Precepción del temblor	Potencial del daño
I	< 0,0017	No apreciable	Ninguno
II - III	0,0017 - 0,014	Muy leve	Ninguno
IV	0,0014 - 0,039	Leve	Ninguno
V	0,039 - 0,092	Moderado	Muy leve
VI	0,092 - 0,18	Fuerte	Leve
VII	0,18 - 0,34	Muy fuerte	Moderado
VIII	0,34 - 0,65	Severo	Moderado a Fuerte
IX	0,65 - 1,24	Violento	Fuerte
X+	> 1,24	Extremo	Muy fuerte

Fuente: Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos

¹⁶ Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos¹⁶ realizada por el *Msc. Pablo Antonio Garzón Casares*,

Tabla 15. Amenaza y calificación

ACELERACION SISMICA (g)	AMENAZA	CALIFICACION
<0,1	Baja	1
0,1 - 0,2	Media	2
>0,2	Alta	3

Fuente: Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos.

De acuerdo a los parámetros establecidos y la información encontrada se obtuvieron resultados de; grados Mercalli promedio, es la operación estadística de los sismos percibidos en la historia de acuerdo a sus epicentros, la aceleración sísmica, es el resultado de la conversión de Mercalli a aceleración horizontal, de la siguiente manera:

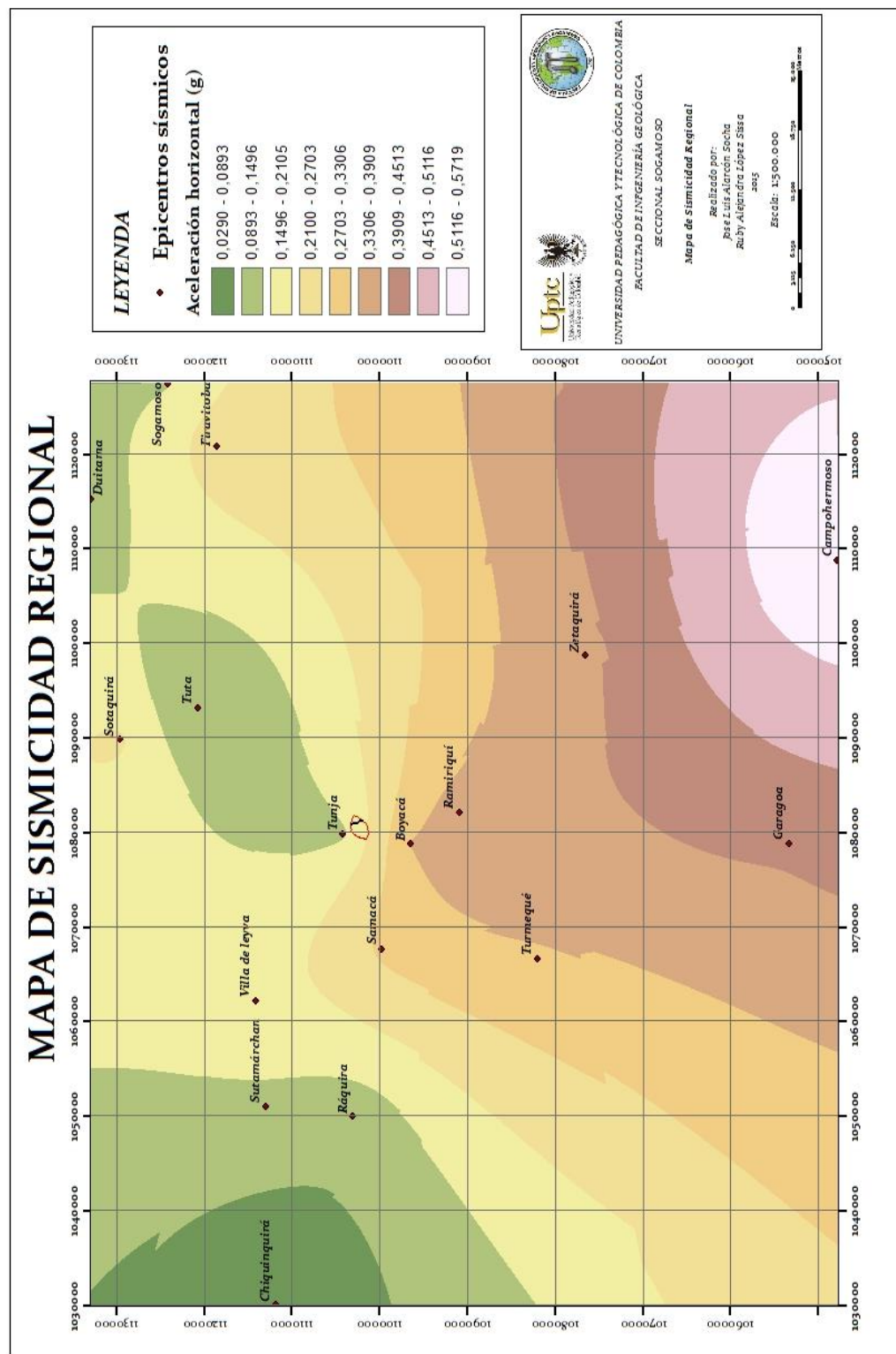
Tabla 16. Datos sísmicos históricos de Tunja y sus alrededores

CIUDAD	LATITUD Grados	LONGITUD Grados	GRADOS MERCALLI (Promedio)	Aceleración Sísmica (g)
Duitama	5,8	-73,04	6,16	0,106
Tunja	5,54	-73,36	4,9	0,036
Firavitoba	5,67	-72,99	7	0,18
Sogamoso	5,72	-72,93	5,63	0,072
Chiquinquirá	5,61	-73,81	4,83	0,034
Campohermoso	5,03	-73,1	8,75	0,572
Boyacá	5,47	-73,37	7,67	0,287
Garagoa	5,08	-73,37	7,5	0,26
Ráquira	5,53	-73,63	5,31	0,055
Ramiriquí	5,42	-73,34	7,43	0,248
Samacá	5,5	-73,47	7	0,18
Sutamarchan	5,62	-73,62	6	0,092
Tuta	5,69	-73,24	4,61	0,029
Turmequé	5,34	-73,48	7	0,18
Zetaquirá	5,29	-73,19	7,33	0,232
Villa de leyva	5,63	-73,52	6,33	0,121
Sotaquirá	5,77	-73,27	6,8	0,162

Fuente: Datos obtenidos Servicio Geológico Colombiano, 2015, conversión de datos a autores.

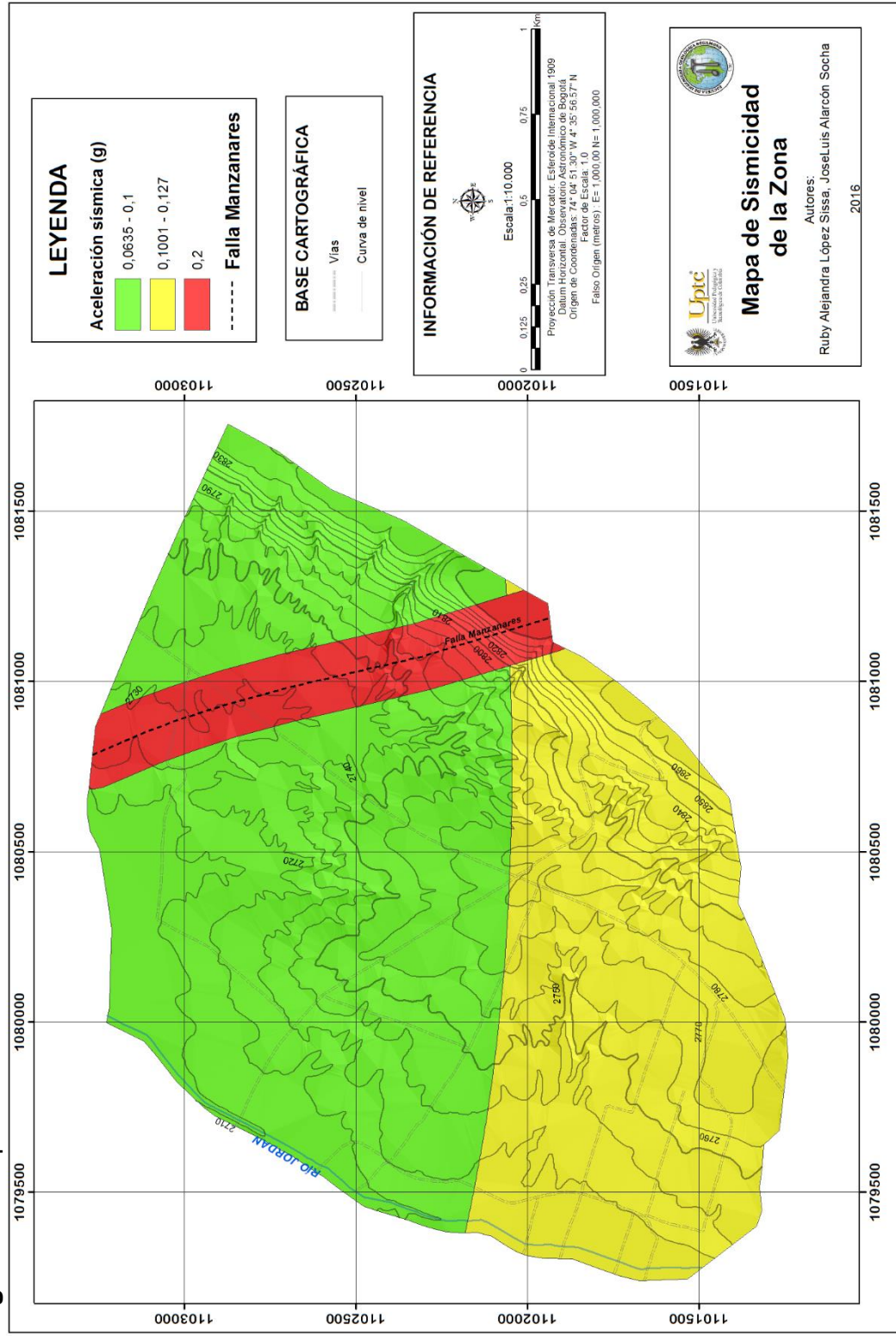
El procesamiento Geoestadístico de la aceleración sísmica permitió la generación de un mapa de distribución espacial de dicha aceleración, con la cual es posible determinar la amenaza por sismicidad en la zona de estudio (ver figura 40) y así finalmente con el mapa de sismicidad en la zona sumado al mapa de susceptibilidad total, obtener el mapa de amenaza por sismicidad para el área de estudio (ver figura 41):

Figura 39. Mapa de Sismicidad Regional



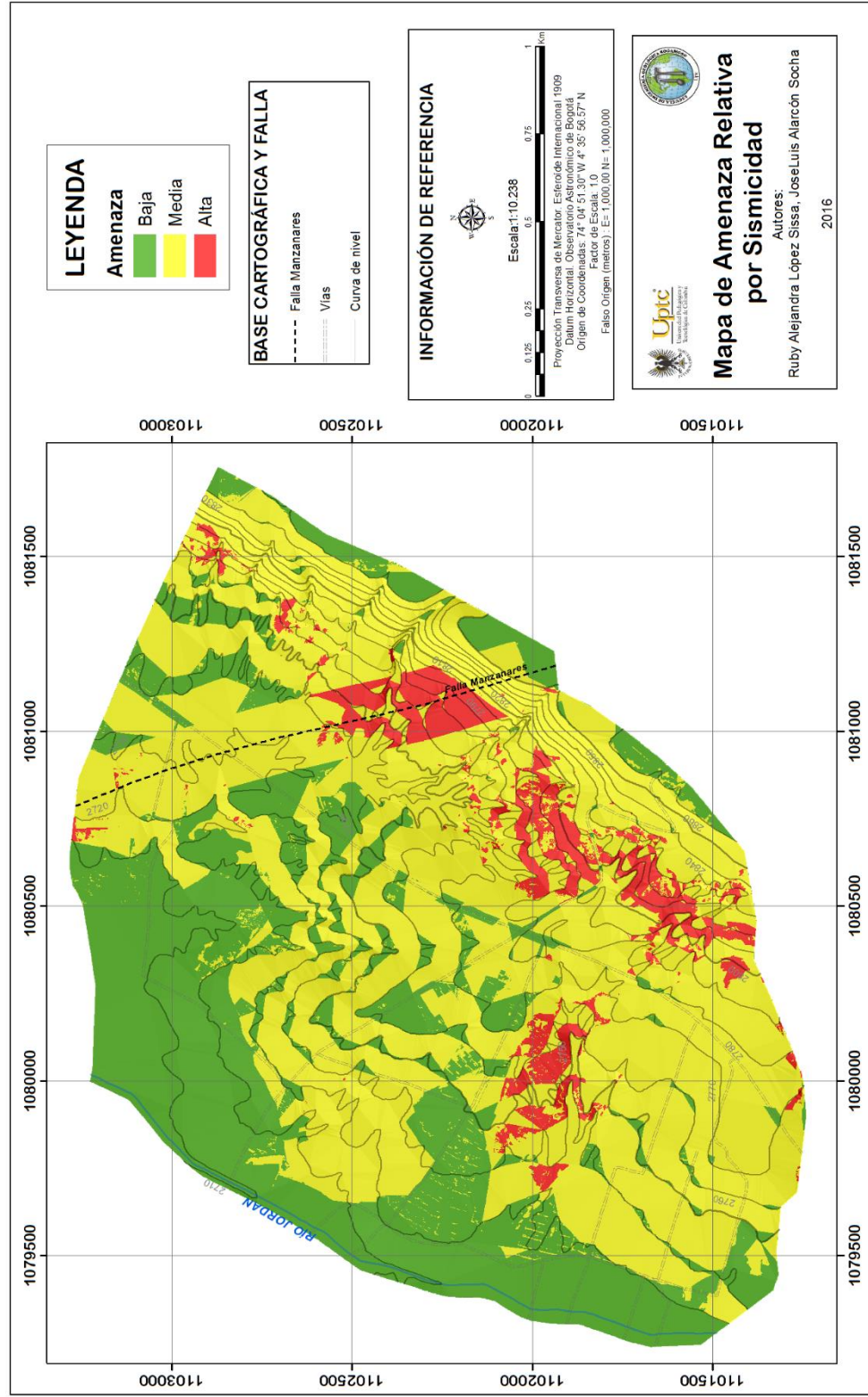
Fuente: Autores

Figura 40. Mapa de Sismicidad de la Zona



Fuente: Autores

Figura 41. Mapa de Amenaza relativa por Sismicidad



Fuente: Autores

3.3 CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR EROSION.

La amenaza está relacionada con el peligro que significa la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio y durante un tiempo de exposición.

Para evaluar la amenaza por erosión en cárcavas, se ha realizado con el apoyo de un software para SIG (Arcgis 10.2), que realice las respectivas operaciones topológicas entre la información vectorial de cada una de las variables: susceptibilidad total de la zona sumado a factores intensificadores y calificación hecha de las mismas; así generando el mapa o salida cartográfica, para el cual se definieron los rangos de la amenaza baja (1), media (2) y alta (3), que fueron los que mejor se ajustaron a las condiciones reales del terreno, de acuerdo a el trabajo realizado en campo y la información obtenida del trabajo realizado anteriormente (ver figura 42).

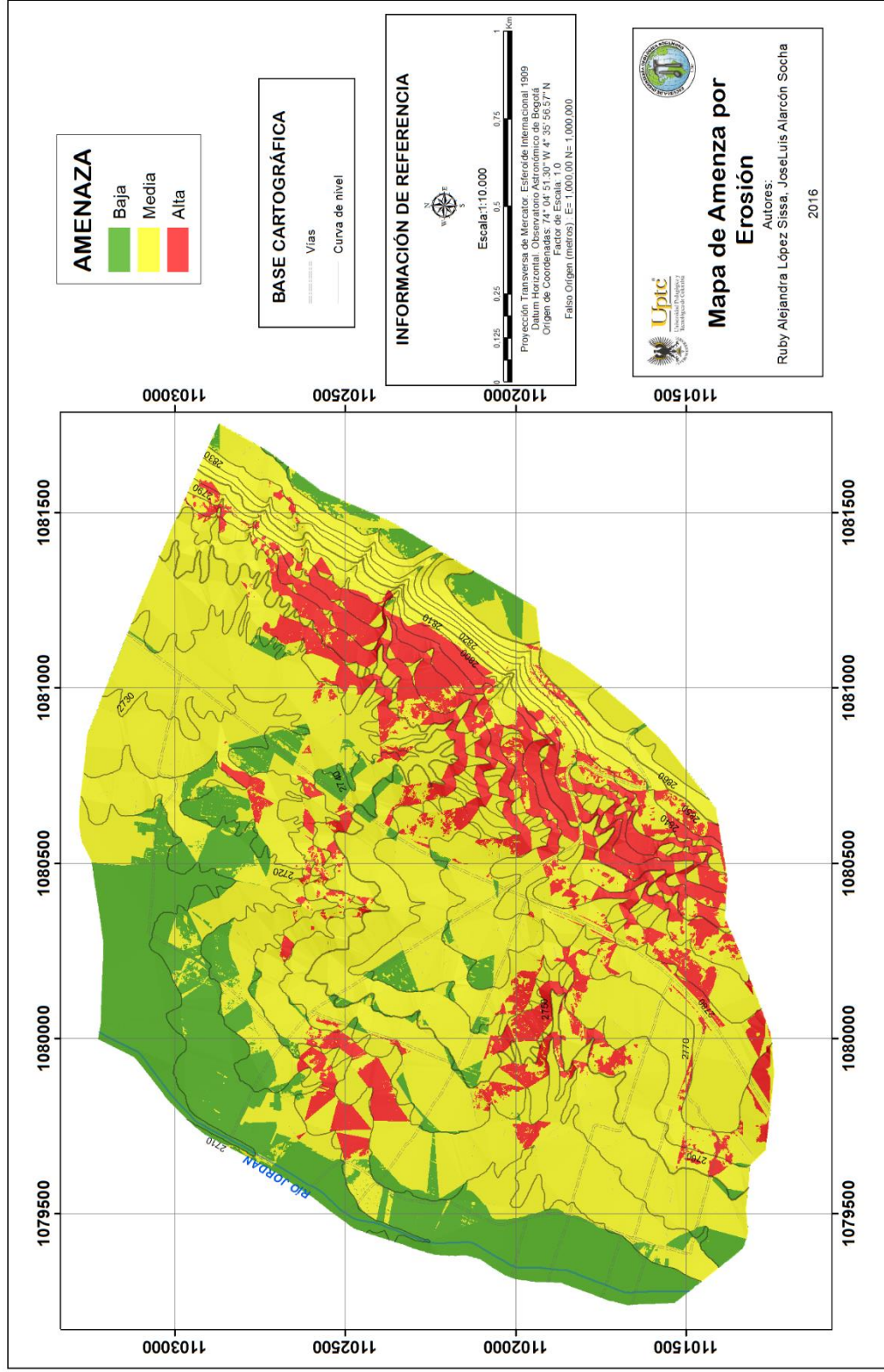
El mapa generado y su clasificación se presentan a continuación:

Tabla 17. Grados de amenaza y Calificación.

GRADO DE AMENAZA	VALOR
Baja	1
Media	2
Alta	3

Fuente: Autores

Figura 42. Mapa de Amenaza total por erosión



Fuente: Autores

- **Análisis de resultados para el mapa de amenaza total por erosión:**

En la amenaza actual existe una tendencia media a lo largo de la zona, visiblemente esta se intensifica en aquellos lugares donde están presentes los sistemas de cárcavas, es el caso de El Alto de Tunja; que se extiende en el costado Suroeste - Oeste, donde existen los sistemas de mayor extensión; igualmente presenta una tasa de alta amenaza aquellas cárcavas ubicadas en el casco urbano del municipio, en los barrios: San Antonio, Los Patriotas, Cooservicios, La Peñita, El portal de Tunja, El Curubal y el colegio orfanato Amparo del niño.

3.4 DETERMINACIÓN DE LA TASA EVOLUTIVA Y CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR INCREMENTO DE AREA DE CÁRCAVAS

El presente estudio comprende la aplicación de un analisis multitemporal, para evaluar la tasa evolutiva y la amenaza por aumento de área para los sistemas de cárcavas, usando diferentes técnicas de interpretación sobre fotografías aéreas de distinta data e imágenes de satélite LANDSAT, permitiendo así el seguimiento del fenómeno a una escala detallada.

Para el desarrollo de esta tarea se contó con fotografías aéreas de los años comprendidos entre los años (1985 - 2015) con escalas variables; estudio que cuenta con dos etapas:

- La primera consiste en la fotointerpretación con las imágenes satelitales en la cual se delimitaron cada uno de los sistemas de cárcavas.
- En la segunda etapa se realiza la digitalización en un programa SIG (Arcgis 10.2) donde posteriormente se relacionan las cárcavas correspondientes a los años de estudio, estas mostrarán el área de variación, finalmente, mediante operaciones estadísticas se postulan valores anuales de crecimiento y disminución.

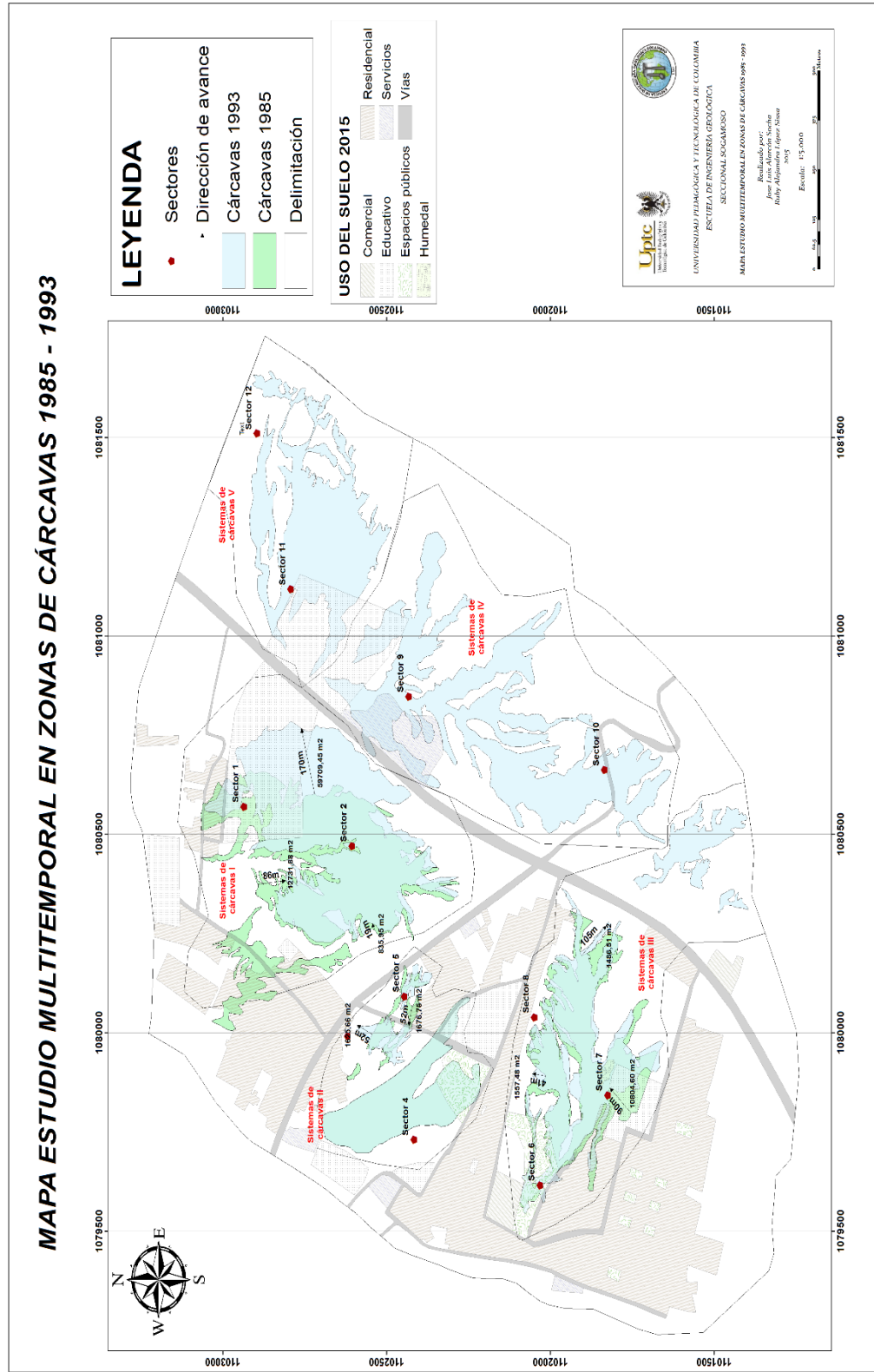
Debido a la interacción del hombre sobre estos fenómenos la principal disminución en las cárcavas consiste en la construcción de rellenos y edificaciones, más aún, existen sectores en los cuales el fenómeno sigue su curso natural, aunque ciertamente afectado en menos medida por la mano del hombre.

En seguida, se muestran los mapas resultados año tras año donde se dividen en 5 sistemas de cárcavas delimitados por su continuidad, a su vez subdivididos en 12 sectores los cuales están comprendidos geográficamente de la siguiente forma:

- Sector 1 y 2: Barrio Manzanares y Barrio El Curubal.
- Sector 3 y 5: Barrio Patriotas y Barrio Unza.
- Sector 4: Institución Educativa Silvino Rodriguez, Barrio San Antonio y el parque Centenario.
- Sector 6: Barrio la Peñita.

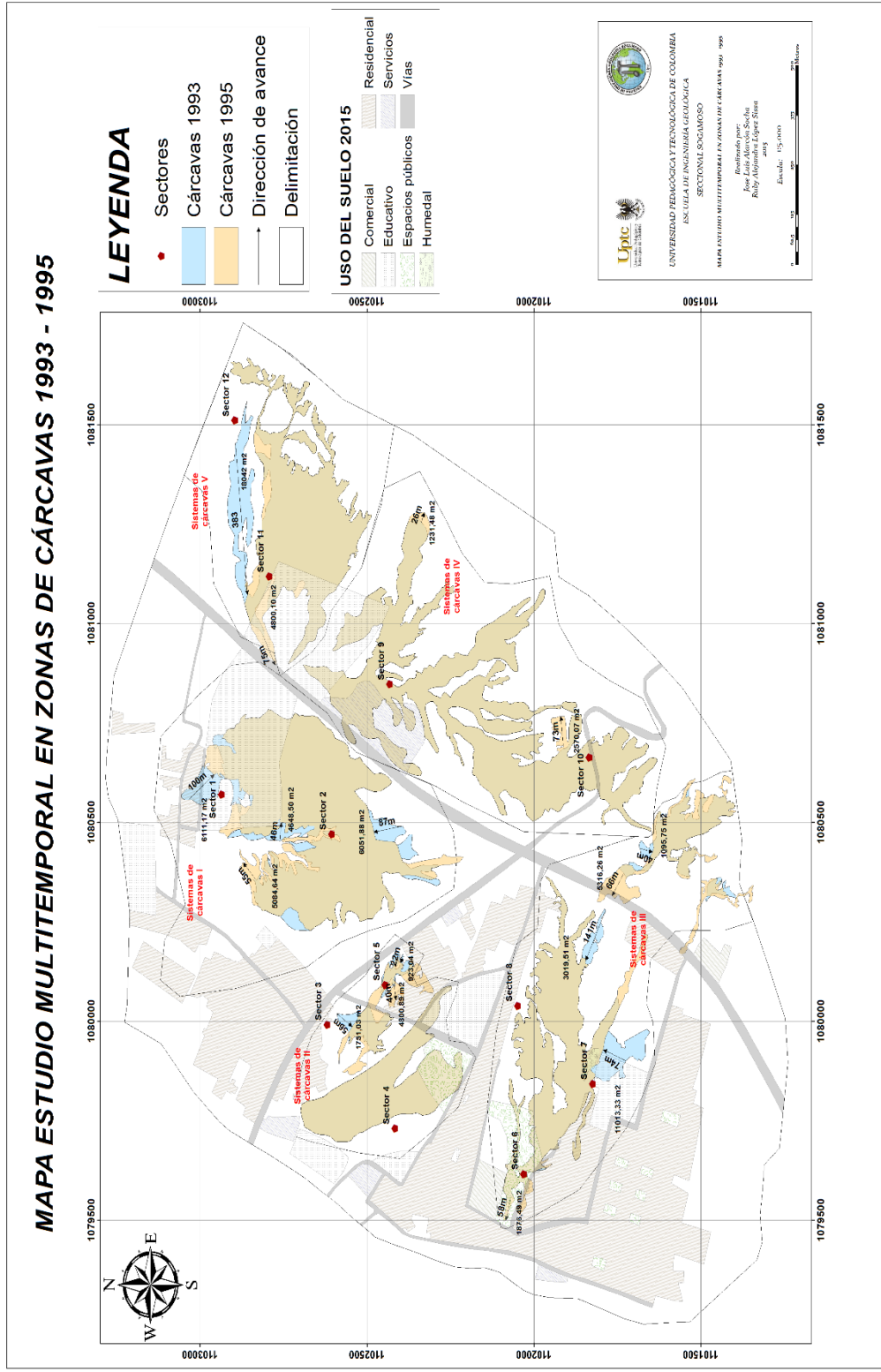
- Sector 7: Barrio Cooservicios.
- Sector 8: Barrio Bochica.
- Sector 9: Hogar orfanato El Amparo Del Niño.
- Sector 10: Vía Tunja – Soracá sector torres repetidoras de televisión.
- Sector 11 y 12: Vía Tunja – Villapinzón zona de chircales.

Figura 43. Mapa estudio multitemporal de cárcavas 1985-1993



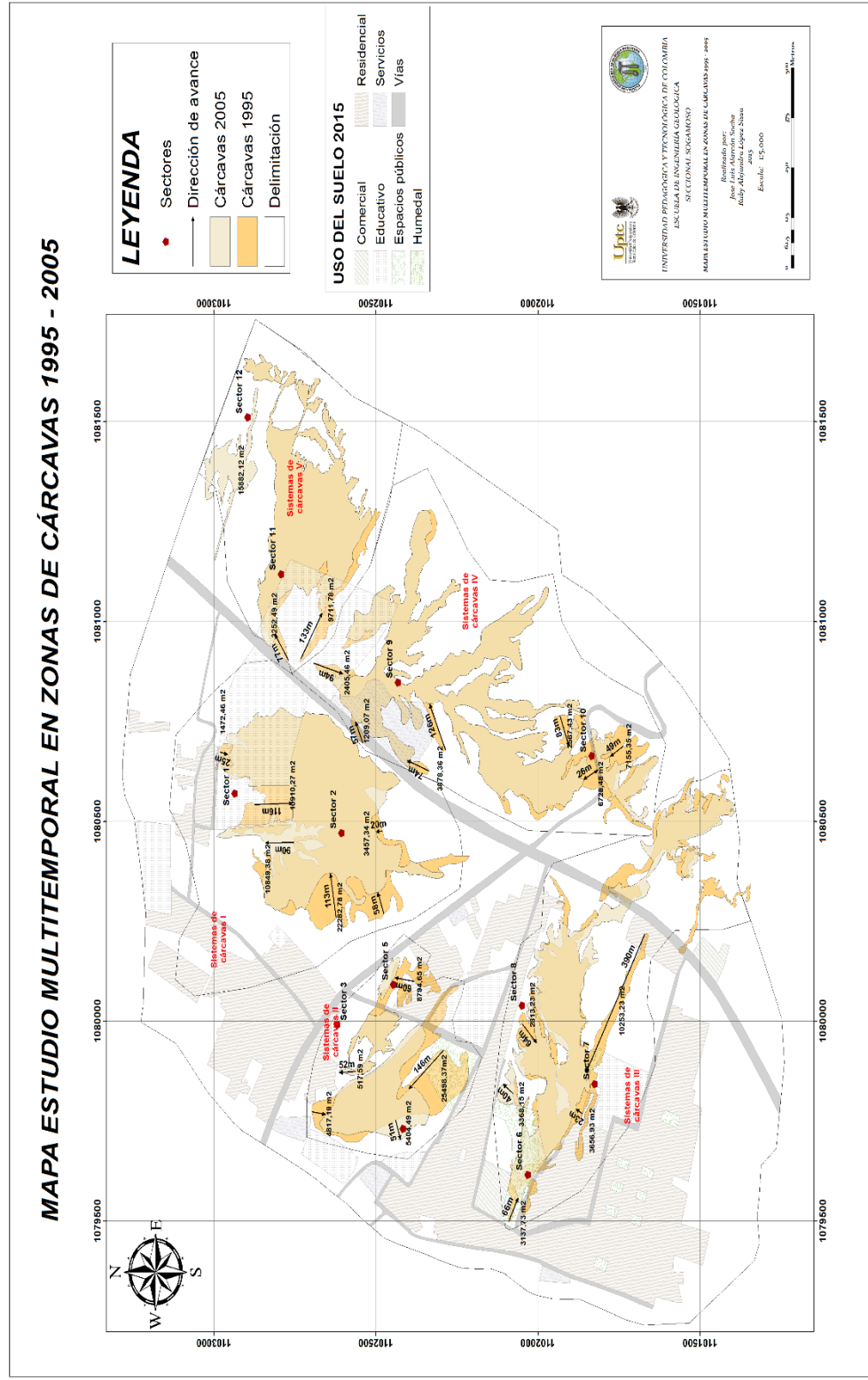
Fuente: Autores

Figura 44. Mapa estudio multitemporal de cárcavas 1993-1995



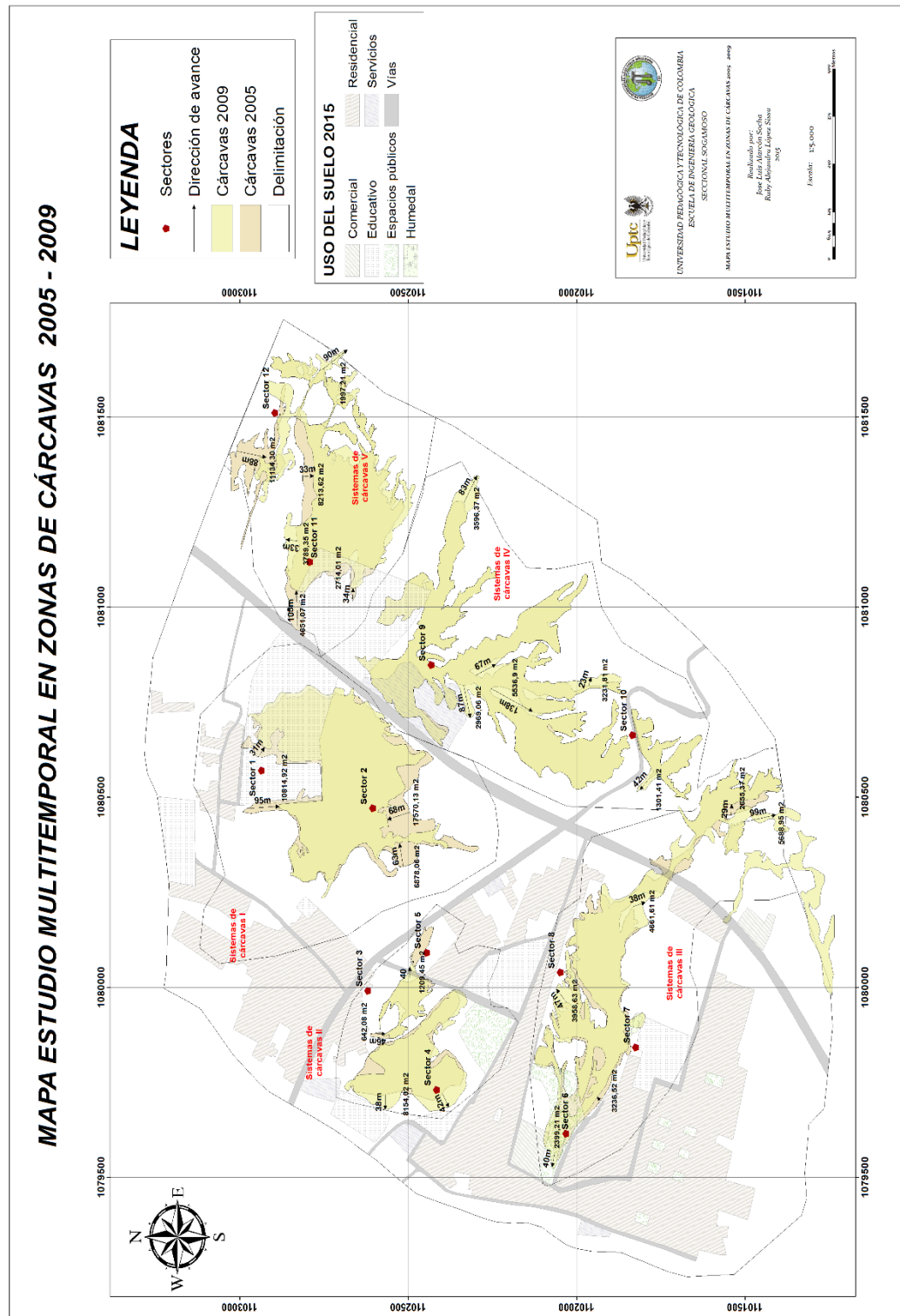
Fuente: Autores

Figura 45. Mapa estudio multitemporal de cárcavas 1995-2005



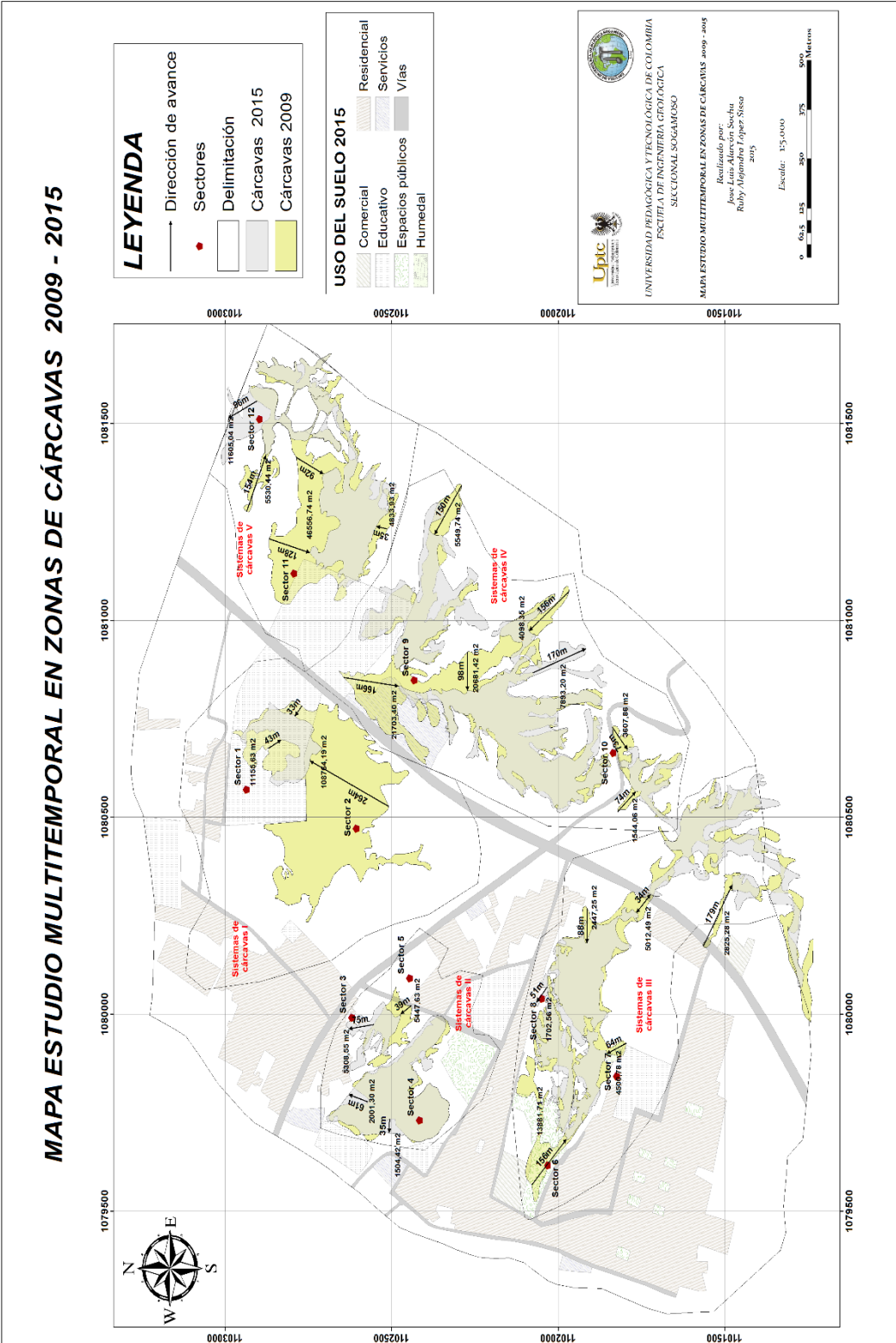
Fuente: Autores

Figura 46. Mapa estudio multitemporal de caracavas 2005-2009



Fuente: Autores

Figura 47. Mapa estudio multitemporal de caracavas 2009-2015



Fuente: Autores

DETERMINACIÓN DE LA TASA EVOLUTIVA:

El proceso matemático utilizado para calcular la tasa de variación del área anualmente, consiste en promedios ponderados de la cantidad de años transcurridos en cada análisis, respecto a la totalidad en el estudio, la sumatoria de estos valores determinará las tasas de disminución por causa antrópica ó crecimiento natural con poca o nula interferencia humana en los diferentes sectores de importancia y de mayor cambio en el tiempo.

Debido a la insuficiencia de información en la fotografía aérea del año 1985, en los sistemas de cárcavas IV y V, el estudio multitemporal se inició desde el año de 1993. En cuanto a los sistemas de cárcavas I, II, III se realizó desde 1985.

Los valores negativos representan la variación inversa que tuvo el sector en determinado periodo, de acuerdo a la tendencia evolutiva general, es decir, si la tendencia evolutiva es la disminución se encontrarán valores negativos en aquel período, el cual, por diferentes razones tuvo un aumento del área de cárcavamiento y viceversa; además, los valores de ceros indican que el sector en cuestión no tuvo variación significativa en el periodo.

De acuerdo a la anterior descripción, se desarrolla el análisis de la siguiente manera:

Tabla 18. Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 1, sector 1 y 2; disminución

SISTEMAS DE CÁRCAVAS I								
AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 1 (m³/periodo)	OBSERVACIÓN SECTOR 2 (m³/periodo)	SECTOR 1/PERÍODO (m³)	SECTOR 2/PERÍODO (m³)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 1 (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 2 (m²)
1985 - 1992	8	25,806%	835,95	12731,88	104,48375	1591,485	26,96612003	410,7058065
1993 - 1994	2	6,452%	6051,88	10759,67	3025,94	5379,835	195,222	347,086
1995 - 2004	10	32,258%	25740,12	12382,73	2574,012	1238,273	830,3264516	399,443
2005 - 2008	4	12,903%	10814,92	24448,19	2703,73	6112,0475	348,8883871	788,651
2009 - 2015	7	22,581%	108764,19	11155,63	15537,74143	1593,661429	3508,52258	359,859
TOTAL	31	1			ΣTASA DE DISMINUCIÓN	ANTRÓPICA (m²/año)	4909,905	2305,745

Fuente: Autores

Tabla 19. Tasa de variación evolutiva sistemas de carcavas 1, sector 3 y 4; aumento

SISTEMAS DE CÁRCAVAS II								
AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 3 (m³/periodo)	OBSERVACIÓN SECTOR 4 (m³/periodo)	SECTOR 3/PERÍODO (m³)	SECTOR 4/PERÍODO (m³)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 3 (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 4 (m²)
1985 - 1992	8	25,806%	1625,66	0	203,2075	0	52,441	0
1993 - 1994	2	6,452%	-1751,03	0	-875,515	0	-56,485	0,000
1995 - 2004	10	32,258%	517,59	5404,48	51,759	540,449	16,8645161	174,338
2005 - 2008	4	12,903%	-642,08	8154,02	-160,52	2038,505	-20,712	263,033
2009 - 2015	7	22,581%	5308,55	1504,42	758,364	214,917	171,244	48,530
TOTAL	31	1			ΣTASA DE AUMENTO	NATURAL (m²/año)	163,184	485,901

Fuente: Autores

Tabla 20. Tasa de variación evolutiva sistemas de carcavas 2, sector 5; disminución

SISTEMAS DE CÁRCAVAS II					
AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 5 (m³/periodo)	SECTOR 5/ PERÍODO (m³)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 5 (m²)
1985 - 1992	8	25,806%	1676,75	209,594	54,089
1993 - 1994	2	6,452%	923,04	461,52	29,77548387
1995 - 2004	10	32,258%	8794,65	879,465	283,6983871
2005 - 2008	4	12,903%	-1209,45	-302,3625	-39,01451613
2009 - 2015	7	22,581%	5447,63	778,233	175,730
TOTAL	31	1	ΣTASA DE DISMINUCIÓN	ANTRÓPICA (m²/año)	504,278

Fuente: Autores

Tabla 21. Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 3, sector 7, disminución

AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	SISTEMAS DE CÁRCAVAS III					SECTOR 7/PERÍODO (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 6 (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 7 (m²)
		PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 6 (m²/periodo)	OBSERVACIÓN SECTOR 7 (m²/periodo)	SECTOR 6/PERÍODO (m²)	SECTOR 7/PERÍODO (m²)			
1985 - 1992	8	25.806%	0	12731.88	0	1591.485	0	410.7058065	
1993 - 1994	2	6.452%	-1876.49	11013.33	-938.245	5506.665	-60.532	355.269	
1995 - 2004	10	32.258%	3137.73	3666.93	313.773	365.693	101.2170968	117.965	
2005 - 2008	4	12.903%	-2399.21	3236.52	-599.8025	899.13	-77.394	104.404	
2009 - 2015	7	22.581%	13881.71	4500.78	1983.101	642.9685714	447.797	145.186	
TOTAL	31	1			ΣTASA DE DISMINUCIÓN	ANTROPICA (m²/año)	411.088	1133.530	

Fuente: Autores

Tabla 22. Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 3, sector 8; aumento

AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	SISTEMAS DE CÁRCAVAS III					SECTOR 8/PERÍODO (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 8 (m²)
		PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 8 (m²/periodo)	SECTOR 8/PERÍODO (m²)	SECTOR 8/PERÍODO (m²)	SECTOR 8/PERÍODO (m²)		
1985 - 1992	8	25.806%	1557.48	194.685	194.685	194.685	50.241	
1993 - 1994	2	6.452%	0	0	0	0	0.000	
1995 - 2004	10	32.258%	3368.15	336.815	336.815	336.815	108.65	
2005 - 2008	4	12.903%	3958.63	989.6575	989.6575	989.6575	127.698	
2009 - 2015	7	22.581%	1702.56	243.2229	243.2229	243.2229	54.921	
TOTAL	31	1	ΣTASA DE AUMENTO	NATURAL (m²/año)			341.510	

Fuente: Autores

Tabla 23. Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 4, sector 10; disminución

AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	SISTEMAS DE CÁRCAVAS IV					SECTOR 10/PERÍODO (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 9 (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 10 (m²)
		PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 9 (m²/periodo)	OBSERVACIÓN SECTOR 10 (m²/periodo)	SECTOR 9/PERÍODO (m²)	SECTOR 10/PERÍODO (m²)			
1993 - 1994	2	8.636%	0	0	0	0	0.000	0.000	
1995 - 2004	10	43.478%	7492.89	16451.26	749.289	1645.126	325.778	715.272	
2005 - 2008	4	17.391%	-5536.9	-1301.41	-1384.225	-325.325	-240.735	-56.583	
2009 - 2015	7	30.435%	42384.82	5151.92	6054.974	735.989	1842.818	223.997	
TOTAL	23	1			ΣTASA DE DISMINUCIÓN	ANTROPICA (m²/año)	1927.861	882.686	

Fuente: Autores

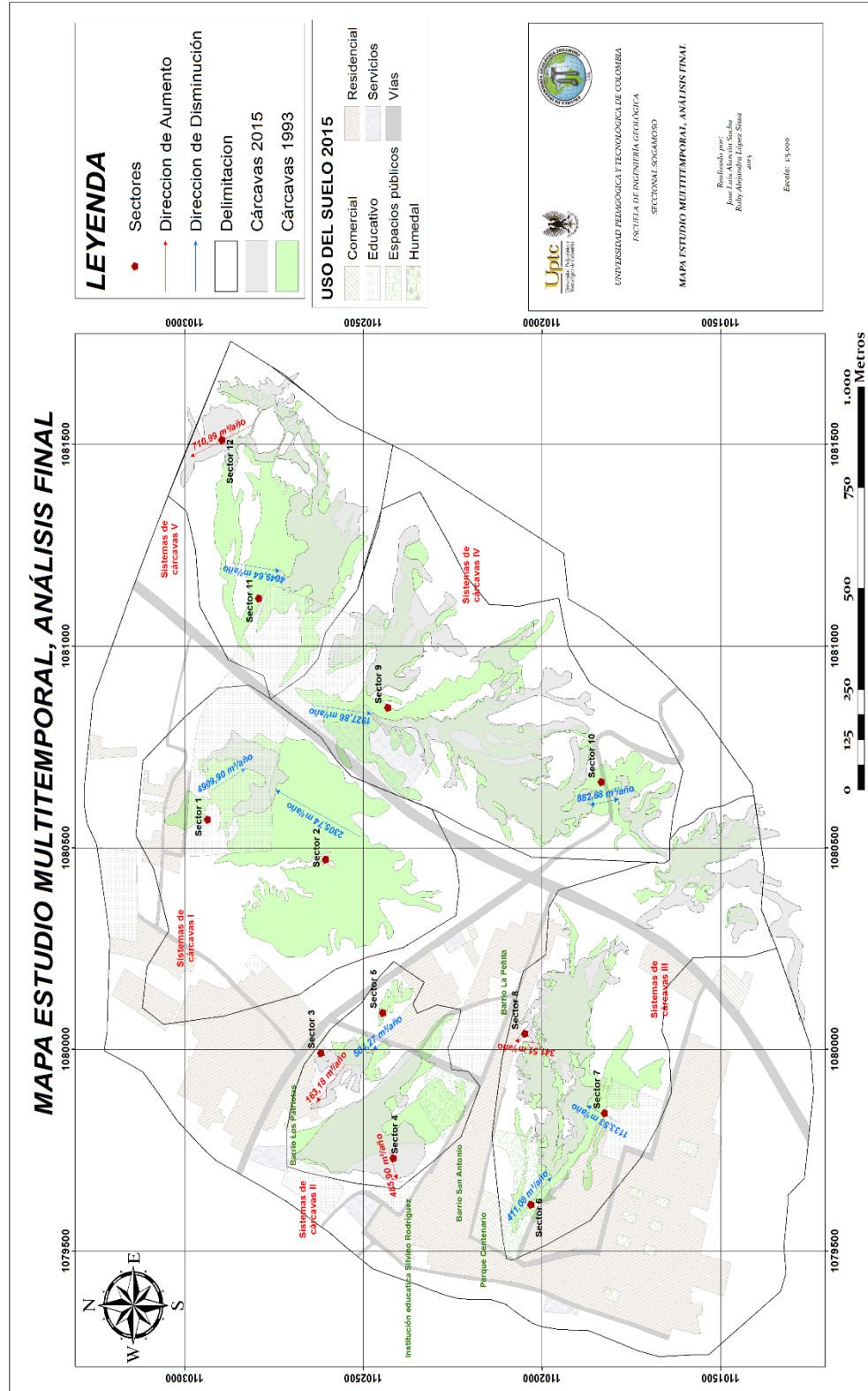
Tabla 24. Tasa de variación evolutiva sistema de carcavas 4, sectores 11 y 12; aumento y disminución de área útil

SISTEMAS DE CÁRCAVAS V								
AÑOS DE ESTUDIO	PERÍODO (AÑOS)	PONDERACIÓN DE AÑOS (%)	OBSERVACIÓN SECTOR 11 (m²/periodo)	OBSERVACIÓN SECTOR 12 (m²/periodo)	SECTOR 11/ PERÍODO (m²)	SECTOR 12/ PERÍODO (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 11 (m²)	ÁREA ANUAL PONDERADA SECTOR 12 (m²)
1993 - 1994	2	8,696%	18042	0	9021	0	784,435	0,000
1995 - 2004	10	43,478%	12964,27	15882,12	1296,427	1588,212	563,664	690,527
2005 - 2008	4	17,391%	15578,7	-11134,3	3894,675	-2783,575	677,335	-484,100
2009 - 2015	7	30,435%	46556,74	11605,04	6650,963	1657,863	2024,206	504,567
TOTAL	23	1			ETASA DE DISMINUCIÓN	ANTRÓPICA (m²/año)	4049,640	N.P
					ETASA DE AUMENTO	NATURAL (m²/año)	N.P	710,994

Fuente: Autores

Según el análisis de los resultados las tasas de crecimiento anual de los sectores y su distribución espacial con referencia a los sistemas de cárcavas de 1993 y 2015 se consignan en el siguiente mapa:

Figura 48. Mapa Estudio Multitemporal Final



Fuente: Autores

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

El análisis final para el año 2015 en los cinco sistemas de cárcavas del estudio, indicaron que presentan tasas de aumento y disminución en 12 sectores con direcciones preferenciales arrojando los siguientes datos:

- Para el sistema número uno, presenta dos disminuciones en el área: en el sector 1 con una con dirección Sureste de 4909,9 m²/año, y el sector 2 con una disminución de área de 2305,74 m²/año hacia Noreste.
- El segundo sistema de cárcavas, presenta por dos costados aumento o recuperación en el área: el primero ubicado en el sector 4 en dirección Suroeste de 485,9 m²/año y la segunda en el sector 3 en dirección Noroeste con aumento de 163,18 m²/año. Finalmente, registra una disminución de área de 504,27m²/año en dirección Noroeste en el sector 5.
- El tercer sistema con un comportamiento algo diferente al anterior, presenta dos disminuciones de área: la primera de 411,08m²/año en el sector 6 y la segunda de 1133,53m²/año en el sector 7 con dirección Sureste y Noreste respectivamente. Por último, se observó un aumento en dirección Noreste de 341,51m²/año en el sector 8.
- Para el cuarto sistema se registraron dos disminuciones en el área útil: La primera en doble sentido de 882,68m²/año en el sector 10 y segunda ubicada en el sector 9 de 1927,86m²/año en sentido Suroeste.
- Finalmente, para el sistema de cárcavas numero cinco, presenta un aumento o recuperación de área y una disminución en el área util: aumento en el sector 12 de 710,99m²/año y dirección Noroeste y disminución en el sector 11 de 4049,64m²/año en Sureste.

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR INCREMENTO DEL ÁREA DE CÁRCAVAS

Se determinó, que uno de los factores de mayor influencia para la disminución de los sistemas de cárcavas, son factores antrópicos, los cuales se representan en rellenos de escombros y explanaciones de obras realizadas en la ciudad.

En los 12 sectores importantes de variación, se encontraron 8 sectores de disminución del área crítica, mientras en los 4 restantes, se observó que poseen un aumento a través del tiempo e indican una potencial amenaza por pérdida de área útil en barrios, lugares y sectores de actividad común humana como son: Barrio La Peñita, Barrio San Antonio, Barrio Los Patriotas, Barrio Unza, Institución educativa Silvino Rodríguez sede San Antonio y el Parque Centenario

4 MÉTODOS PRELIMINARES DE MITIGACIÓN

Se propone un programa de métodos preliminares de mitigación, para los sistemas de cárcavas al sureste de la ciudad de Tunja, haciendo énfasis, desde la perspectiva técnica. Se pretende, de manera resumida, aportar información útil a entidades públicas, privadas y profesionales, involucrados en la gestión del territorio y gestión del recurso suelo, con soluciones relativas al control de la erosión en cárcavas.

Se plantea un sistema de clasificación de cárcavas, en el que se tiene en cuenta factores como: sección transversal, profundidad, ancho, continuidad, para establecer métodos preliminares de mitigación.

4.1 OBRAS GENERALES

El primer plan de acción en caminado al control del fenómeno, es la adopción de medidas, que permitan la distinción de la zona afectada y disminución del origen del socavamiento, como son la delimitación, el control del agua de escorrentía y reforestación.

Delimitación y señalización:

La información, es un factor importante de prevención que se requiere para la comunidad acerca del fenómeno y las zonas geográficamente limitantes a este¹⁷.

Surcos profundos:

Estos son recomendables para suelos subimpermeables con buen drenaje, como el caso de las arcillas blancas y rojas de la Formación Tilatá así mismo como las arcillolitas abigarradas de la Formación Bogotá. Consisten en surcos de hasta 35cm de profundidad y separados 1,5m unos de otros, localizados en la cabecera de la cárcava, a una distancia mínima igual a la profundidad de ella, que disponen el flujo de una forma más rápida y adecuada a un canal natural o estructura receptora¹⁸.

¹⁷ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas, 2007

¹⁸ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas, 2007

Figura 49. *Surcos profundos.*



Fuente: Autores.

Incorporación de materia vegetal:

Tienen la función de propiciar las condiciones necesarias para la colonización y crecimiento de vegetación sobre las superficies de colmatación que favorecen controlar el accionar de los principales agentes erosivos, las conformaciones de estos sistemas van desde la siembra de barreras vivas con plantas de porte herbáceo y arbustivo, hasta la reforestación de partes altas de la cuenca de drenaje y áreas cuya estabilización requiere de sistema radicales profundos¹⁹.

4.2 OBRAS SEGÚN SU MORFOMETRIA:

Para el área de estudio se plantearán métodos preliminares de mitigación para dos sistemas de cárcavas que son los que mayor riesgo preliminar presentan para la zona en la parte de infraestructura y los habitantes de la zona.

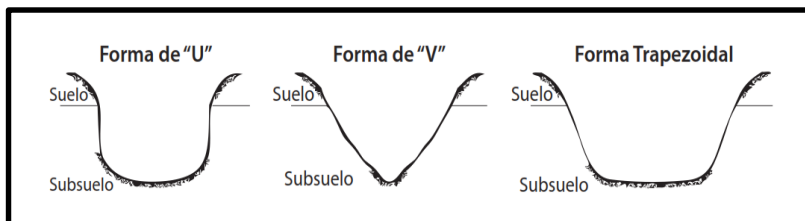
Para la recopilación de información se necesitaron salidas a campo en las cuales se recopiló información morfométrica de los sistemas de cárcavas, su posterior procesamiento incluyó un análisis estadístico con promedios de las mediciones realizadas cada 40mts a lo largo del drenaje principal de la cárcava y la selección de la sección transversal representativa en cada uno.

¹⁹ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas, 2007

Clasificación por forma:

Las cárcavas se clasifican por la forma de la sección transversal en tipo U que se forma cuando el suelo superficial tiene la misma resistencia que el subsuelo; el tipo V que se forma cuando el subsuelo tiene más resistencia que el suelo superficial y el tipo trapezoidal se forma cuando el sustrato es muy resistente²⁰.

Figura 50. Clasificación por forma



Fuente: SAGARPA, secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, Mexico, 2005.

Clasificación por profundidad:

A este respecto, las cárcavas se agrupan en pequeñas, medianas y grandes²¹ de acuerdo con los valores que se muestran a continuación:

Tabla 25. Clasificación por profundidad

Clase	Profundidad (m)
Pequeñas	< 1
Medianas	1 a 5
Grandes	> 5

Fuente: Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas

²⁰ SAGARPA, Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, Mexico, 2005.

²¹ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas, 2007

Agrupación:

Continuas: Estas conforman un sistema de drenaje superficial bien definido. Tiene una cárcava principal en la que confluyen las cárcavas secundarias conformando un sistema de drenaje o varios sistemas de drenaje²².

No continuas: Estas se presentan en forma aislada y son provocadas por los movimientos en masa de un terreno o por la concentración de escurrimiento en una ladera, pero no conforman un sistema de cárcavas, sino que están aisladas. Generalmente la descarga de los escurrimientos, se presenta en áreas planas y la cárcava tiende a desaparecer²³.

Resultados:

Los resultados se muestran en tablas a continuación (ver tablas de la 26 a la 28):

²² SAGARPA, Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, Mexico

²³ SAGARPA, Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, Mexico

Tabla 26. Resultados sistemas de cárcavas II

SISTEMAS DE CÁRCAVAS II			
Puntos de control	Forma de la Sección transversal	Profundidad Promedio (mts)	Ancho Promedio (mts)
1	V	6,6	56,3
2	V	6,3	21,5
3	V	5,5	26,4
4	Trapezoidal	7,2	25,81
5	Trapezoidal	8,4	30,9
6	Trapezoidal	8,7	17,4
7	U	11,7	40,2
8	U	13,8	71,3
9	Trapezoidal	12,5	87,5
10	Trapezoidal	17,1	82,9
11	Trapezoidal	16,3	74,2
12	Trapezoidal	14,2	67,7
PROMEDIO	Trapezoidal	10,7	50,18
LONGITUD (m)	407,07	VOLUMEN TOTAL (m³)	218378,11

Fuente: Autores.

Tabla 27. Resultados sistemas de cárcavas III

SISTEMAS DE CÁRCAVAS III - 1			
Puntos de control	Forma de la Sección transversal	Profundidad Promedio (mts)	Ancho Promedio (mts)
1	V	6,0	56,3
2	V	7,7	44,6
3	V	7,7	33,4
4	Trapezoidal	11,8	65
5	Trapezoidal	9,6	66,3
6	Trapezoidal	7,1	68,3
7	U	7,5	65,4
8	U	10,7	83,6
9	U	8,3	52,3
10	Trapezoidal	8,3	52,2
11	Trapezoidal	3,1	22,7
12	Trapezoidal	4	28,6
PROMEDIO	Trapezoidal	7,7	53,23
LONGITUD (m)	473,4	VOLUMEN TOTAL (m³)	192998, 85

Fuente: Autores

Tabla 28. Resultados sistema de cárcavas III-2

SISTEMAS DE CÁRCAVAS III - 2			
Puntos de control	Forma de la Sección transversal	Profundidad Promedio (mts)	Ancho Promedio (mts)
13	Trapezoidal	6	25
14	V	7,5	20
15	V	8,2	23,1
16	Trapezoidal	5,5	15,3
17	U	5	15,4
18	U	8,2	21
19	Trapezoidal	15	25,6
20	U	14	25
21	U	10	19,4
22	Trapezoidal	11	33,1
23	Trapezoidal	18	40,2
PROMEDIO	Trapezoidal - U	10,8	26,31
LONGITUD (m)	651, 37	VOLUMEN TOTAL (m³)	185770,98

Fuente: Autores.

La clasificación de los sistemas de cárcavas arrojó como resultado que en los sistemas II y III son representativas las formas trapezoidales, de profundidad grande y continuas como se muestra en la tabla:

Tabla 29. Resultados totales sistemas de cárcavas a trabajar

SISTEMAS DE CARCAVAS A TRABAJAR			
CARCAVA	FORMA	PROFUNDIDAD	AGRUPACION
II	Trapezoidal	Grande	Continuas
III - 1	Trapezoidal	Grande	Continuas
III - 2	Trapezoidal	Grande	Continuas

Fuente: Autores

La continuidad indica la magnitud de la obra a emplear y la atención que esta requiere, siendo discontinuo se manejara obras más sencillas como lo son: fajas de césped, aislamiento, desviación del flujo y terraplenes de tierra; para aquellas cárcavas continuas como lo son el caso en particular se requieren obras de mitigación más complejas.

La profundidad como indicador del volumen aproximado removido por el sistema de drenajes cuantifica una proporción de las dimensiones en las estructuras proyectadas a construir, en este caso se requiere de estructuras de tamaño considerable para control.

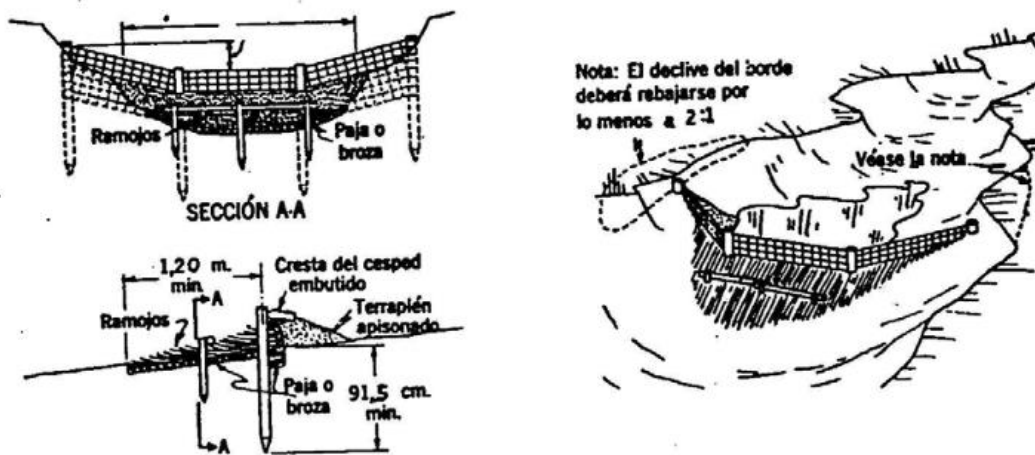
Según la naturalidad del sustrato de suelo afectado e infrayacente, la forma trapezoidal revela una relación suelo débil – sustrato firme propicio para obras de cimientos hincados que exijan un aporte significativo de apoyo en el subsuelo.

Algunas de las obras aplicables a estos parámetros morfométricos se plantearán a continuación:

Represa de alambre:

Esta técnica consiste de hileras de postes o estaciones enterrados a un metro en el suelo y separados 1,20 m uno de otro, tales hileras se disponen trasversales al eje de la cárcava, estando los estacones interiores amarrados a otros exteriores a una distancia de 2,4m a 3m, se disponen de tal forma que el agua escurra por la parte central de la estructura y deben ser clavados en forma oblicua. La malla utilizada debe enterrarse mínimo 20 cm, tanto en el fondo como en las paredes laterales de la cárcava, y su altura puede ser de 1,90 m²⁴.

Figura 51. Represa de alambre



Fuente: Estrategias para el manejo y control de cárcavas

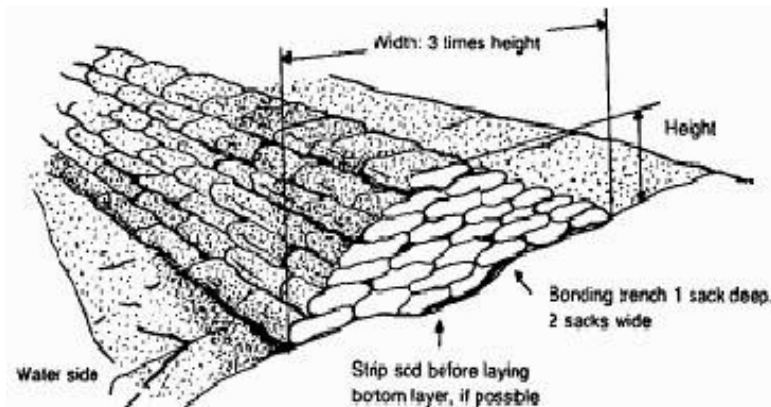
Diques de sacos:

Los empleos de sacos de polipropileno rellenos de material conforman entre otros, pantallas de protección en aguas rivereñas de cursos de aguas de diferentes tipos de revestimientos en ocasiones rellenos usualmente de la misma tierra del sitio o mezclas de esta con cemento (bolsacreto). Son estructuras trasversales consistente en pilas de sacos rellenos que alcanzan alturas hasta de 2,5m y se acompaña de estacones de 4plg de diámetro hincados a 2m de profundidad. Hacia su parte inferior se localizan mangueras de polietileno o tubería PVC de 2 y 4 plg respectivamente ambas perforadas que hacen las veces de drenes²⁵.

²⁴ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosion en cárcavas, 2007

²⁵ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosion en cárcavas, 2007

Figura 52. Diques de sacos

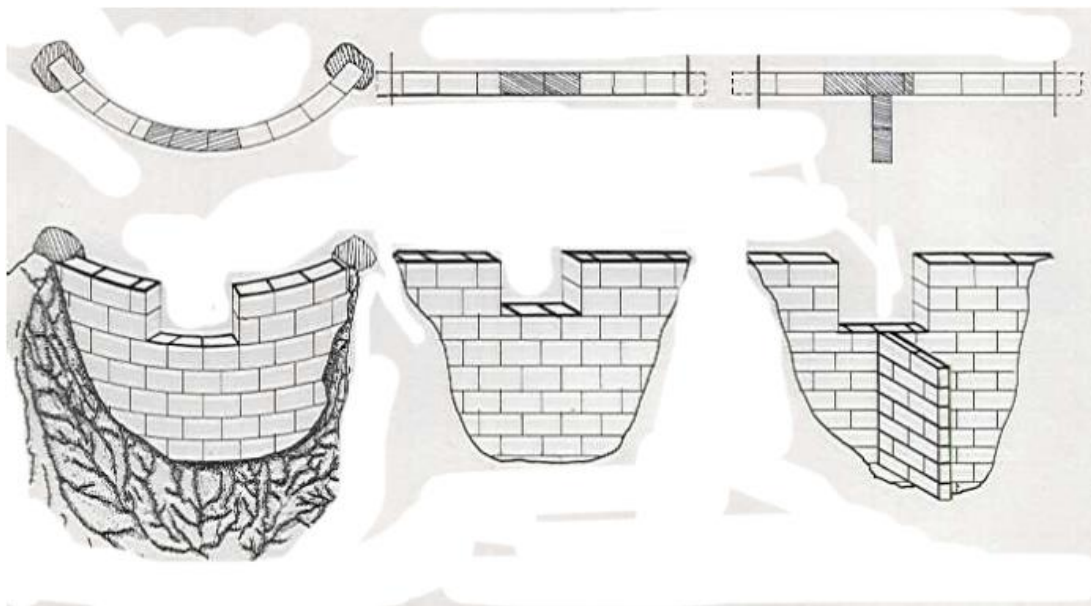


Fuente: Estrategias para el manejo y control de cárcavas

Presas de ladrillos:

Son presas de arcos que pueden alcanzar los 2m de altura que consiste en un cimiento corrido a lo largo del eje trasversal de la cárcava en el cual se edifican contrafuertes que disminuyen el momento flector²⁶.

Figura 53. Presas de ladrillos.



Fuente: Estrategias para el manejo y control de cárcavas

²⁶ Leon Peláez Juan Diego, Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas, 2007

5 CONCLUSIONES

- En la amenaza actual existe una tendencia media a lo largo de la zona, visiblemente esta se intensifica en aquellos lugares donde están presentes los sistemas de cárcavas, es el caso de El Alto de Tunja; que se extiende en el costado Suroeste - Oeste, donde existen los sistemas de mayor extensión; igualmente presenta una tasa de alta amenaza aquellas cárcavas ubicadas en el casco urbano del municipio, en los barrios: San Antonio, Los Patriotas, Cooservicios, La Peñita, El portal de Tunja, El Curubal y el colegio orfanato Amparo del niño.
- En algunos lugares presentes en el área como zonas de relleno, el valor de amenaza es medio, no por esto, los espacios con esta condición deben ser descartados de un plan de control, pues en su mayoría, estos procesos de relleno no fueron realizados de acuerdo a técnicas ingenieriles y tampoco sometidos a seguimiento continuos.
- Cabe resaltar, que las características geológicas de las formaciones Tilatá y Bogotá, en gran mayoría, sus niveles arcillosos, que junto con los procesos meteorológicos inciden directamente en la generación de estos sistemas de erosión. Es debido a esto que el incremento en la amenaza, se ve relacionado en los lugares donde se encuentran estas.
- El área afectada por carcavamiento es aproximadamente de 45,89 Ha, asociadas principalmente con geoformas de origen denudacional tales como: glaciares de erosión y laderas onduladas, además cuyo incremento anual promedio es de 54,88 m².
- En cuanto a las tasas de incremento, se observó que en el sistema de Cárcavas II, se concentran la mayor cantidad de valores; en el sector 4 un incremento de área de 485,9 m²/año y en el sector 3 con un incremento de área de 163,18 m²/año; afectando las zonas adyacentes como lo son: Barrio los Patriotas, La Institución Educativa Silvino Rodríguez sede San Antonio, el barrio San Antonio, entre otros.
- Se observaron que las variaciones tienden a la disminución del fenómeno que no a su crecimiento, abarcando de igual forma mayor área de recuperación por año, con un promedio de 509m²/año; esto se debe a que en los últimos 31 años se ha exponenciado el crecimiento de la población en la ciudad y consigo la cantidad de área requerida para construcción, utilizando lugares que antiguamente solían ser cárcavas para dicho uso.

- Entre las obras dispuestas para la mitigación del fenómeno, se consideraron algunas en relación a la morfometría de las cárcavas y al estudio multitemporal realizado en este estudio, analizando aquellas que revelaron crecimiento, con propuestas que parcialmente reúnen condiciones para el control de estos sistemas de erosión y además proporcionan una base sólida para un sistema de diseños mucho más técnico y acertado.
- De acuerdo a los análisis morfométricos realizados, se pudo determinar la longitud y volumen removido de los canales principales de las cárcavas analizadas, los cuales son aproximados a: Sistemas de Cárcavas II: 407,07m y 218378,11m³; Sistemas de Cárcavas III: 473,4m y 192998,85m³; Sistemas de Cárcavas III – 2: 651,37m y 185770,98 m³.

6 RECOMENDACIONES

- La realización de estudios geotécnicos detallados proporcionaría diseños acertados en el control y estabilización de aquellos fenómenos, acompañados de un seguimiento continuo una vez construidas las obras.
- La supervisión y control del crecimiento de los asentamientos humanos, se convierte en una tarea necesaria; la cual consiste en impedir que se conviertan en invasiones hacia los sectores donde se intensifica la amenaza, ya que esto podría aumentar el estado de riesgo en la zona.
- Respecto a los espacios de relleno, se deben implementar metodologías de monitoreo y medidas correctivas de ser necesario, además cualquier reajuste en la topografía debe estar acompañado de estudios que permitan conocer la interacción de estos con el medio ambiente y el fenómeno natural.
- Debido a la limitación económica de este estudio, se recomienda realizar prospecciones geofísicas para determinar a profundidad los límites de las cárcavas y los rellenos antrópicos existentes, ya que estos verificarían si existe otro tipo de amenaza en la zona mediante la observación posibles nuevas cárcavas a profundidad.

7 BIBLIOGRAFIA

- Servicio geológico colombiano 2013. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000.
- Ingeominas 2001. Evaluación de Riesgos por fenómenos de remoción en masa y avenidas torrenciales.
- Servicio nacional de geología a y minería publicación geológica multinacional no. 4, 2007. Movimientos en Masa en la Región andina, Una guía para la evaluación de amenazas.
- Carvajal, j. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio geológico colombiano.
- Carvajal, j. Servicio Geológico Colombiano. 2014. Glosario Geomorfológico
- Ingeominas. 2001. Geología de la plancha 172 Paz del Rio escala 1:100.00. Memoria explicativa.
- Ingeominas. 1976. Geología de la plancha 191 Tunja escala 100.00.
- Anónimo. 2005. Ejemplos y descripción de la interpretación visual de las coberturas simples del siose.
- Blanco j. 1999. Cunatificacion del crecimiento de las áreas erosionadas en cabeceras de carcavas procesando imágenes de video.
- Anonimo. 2009. Control de cárcavas.
- Leon Pelaez. Juan Diego. 2007. Estrategias para el control y manejo de la erosion en cárcavas.
- Tunja. 2001. Plan de ordenamiento territorial.